

ELEKTROSTIMULATION
PERIPHER DENERVIERTER MUSKELN -
EINE NÜTZLICHE THERAPIEFORM ?

Kritische Literaturübersicht zur Frage
der Wirkung und Wirksamkeit

STEPHAN GEMEN

1986

Aus der Klinik für Physikalische Medizin der Universität München

Vorstand Prof. Dr. H. Drexel

Elektrostimulation peripher denervierter Muskeln-
eine nützliche Therapieform?

Kritische Literaturübersicht zur Frage der Wirkung
und Wirksamkeit.

Dissertation
zum Erwerb des Doktorgrades der Medizin
an der Medizinischen Fakultät der
Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von

Stephan Gemen

aus

Simbach

Jahr

1986

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München

Berichterstatter: Prof. Dr. med. W. Schnizer

Mitberichterstatter: Prof. Dr. med. H. Drexel

Mitbetreuung durch den
promovierten Mitarbeiter: Oberarzt Dr.med. R. Liebeneister

Dekan: Prof. Dr.med. W. Spann

Tag der mündlichen Prüfung: 23.10.1986

Herzlichen Dank möchte ich auf diesem Wege Frau Beate Nöbauer und
Fräulein Anita Mitterer für die geduldige und perfekte Abschrift
des Skriptums ausdrücken.

Ganz besonderer Dank gebührt Herrn Oberarzt Dr. Liebermeister für
sein stetes Entgegenkommen bei auftretenden Problemen und für seine
Hilfeleistung bei der Zusammenstellung der Literatur.

Ein Dankeschön auch an die Herren Dr. Eichhorn und Dipl. Ing.
Schubert, Uni Erlangen, die freundlicherweise Literatur zur
Verfügung stellten.

Widmung

=====

Gewidmet allen Geschöpfen, die umsonst in unüberlegten und zum Teil sinnlosen Versuchen gequält und getötet werden und wurden, aber auch jenen, die sinnvoll zum Wohlergehen der Gattung Mensch ihr Leidens- und Lebensopfer bringen mußten, ohne jemals Bewußtsein darüber erlangt zu haben, wie ihnen geschah.

Gewidmet auch dem leidenden Kranken, dem als zusätzliche Qual das Bewußtsein gegeben ist.

Gewidmet dem Wissenschaftler, der eingedenk der Achtung vor dem Menschen diese auch anderen Lebewesen zollt und ihre Daseinsberechtigung nicht nur auf den wissenschaftlichen Bereich beschränkt sieht.



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41554622_0013

Inhaltsverzeichnis

1. Vorwort
2. Einführung
 - 2.2. Begriffe und Definitionen
3. Klinische Betrachtungen
 - 3.1. Atrophie
 - 3.2. Reinnervation
 - 3.3. Auswirkungen der E-Therapie auf andere Parameter
 - 3.4. Stromarten
 - 3.5. Zusätzliche Therapiearten
4. Tierexperimentelle Ergebnisse
 - 4.1. Latenzperiode (Denervationszeit bis zur E-Therapie)
 - 4.2.1. Maximale bis supramaximale Kontraktion (Schmerzschwelle)
 - 4.2.2. Minimale bis submaximale Kontraktionen
 - 4.2.3. Kontraktionsarten: isometrische- isotonische
 - 4.2.4. Stromarten und -formen
 - 4.2.5. Elektrodenarten
 - 4.2.6. Tägliche Anwendungsdauer
 - 4.3. Reinnervation
 - 4.4. Besondere Anwendungsarten und ihre Auswirkungen (Massage, pass. Bewegung)
5. Zusammenfassende Kritik und Diskussion
6. Ergebnisse
7. Vorschläge für neue Studien
8. Literaturverzeichnis
9. Lebenslauf

1. Vorwort:

Die Vielgestaltigkeit des Themas erbrachte oft unüberwindlich erscheinende Schwierigkeiten der Zusammenstellung. Wohl in wenigen wissenschaftlichen Bereichen dürften derart konträre Ansichten vorherrschen wie in der Elektrotherapie denervierter Muskeln. Bei einer Umfrage zwischen Neurologen und physikalischen Medizineren hinsichtlich der Wirksamkeit der Elektrotherapie wurden folgende Ergebnisse verzeichnet (70):

Neurologen: 50 % zu 50 % wie wirksam zu unwirksam bis fraglich.

Physikalische Mediziner: 11 zu 1 wie wirksam zu unwirksam.

Alle Befragten waren sich darüber jedoch einig, daß kein schädlicher Einfluß davon ausgehen würde.

Die meisten brauchbaren, aber auch unbrauchbaren Ergebnisse basieren auf Tierexperimenten, auf denen auch die Grundlagenforschung beruht. Einige Arbeiten, sogenannte " Literarische Übersichtsarbeiten " setzen ihre Ergebnisse aus zum Teil übernommenen Daten von sowohl tierexperimentellen wie auch klinischen Forschungen zusammen. Letztere wurden hier für den klinischen Teil verwendet, ohne die Herkunft jeweils genau zu differenzieren. Wie der Titel schon besagt, wurden in der Ergebnisauswertung nur periphere Denervationen berücksichtigt (grenzwertig Klumpke- und Erb'sche Lähmung), andere Arbeiten wurden nur zur Stoffbereicherung verwertet. Hochfrequenz-, bzw. Mittelfrequenztherapie wurden wegen zu geringer Bedeutung ausgeschlossen. Somit zeigt die Zusammenstellung nur Ergebnisse aus der Niederfrequenztherapie (bis 1000 Hz) auf.

In der englischen Literatur wird meist von "galvanischem Strom" oder "galvanischer Reizung" gesprochen. Da nicht modulierter Gleichstrom jedoch keinen Impulscharakter hat, darf angenommen werden, daß es sich immer um "zerhackte Formen" von Gleichstrom handelt. Aus Zitatsgründen wurde diese Ausdrucksform jedoch beibehalten.

Sogenannte "Vierecksimpulse" sind gleichbedeutend mit "Rechtecksimpulsen". Auf eine genaueste Beschreibung der Wirkungs- und Anwendungsweisen in ihrer gesamten Problematik wurde weitestgehend verzichtet, da es sich hier um eine kritische Bilanz der Literatur und nicht um ein Lehrbuch handeln sollte. Leider war es nicht zu vermeiden, bei den einzelnen Kapiteln Wiederholungen schon bekannter Daten zu bringen. Sicherlich kommt dabei häufig der Wunsch nach Tabellen auf. Da fast jeder Autor aber andere Beurteilungskriterien und Meßparameter ansetzt, wurde nach mehrmaligen Versuchen weitgehend darauf verzichtet. Damit erhält die Arbeit oft einen aufzählenden Charakter, der sich nicht vermeiden ließ. Ein Vorteil wird dadurch jedoch erreicht, daß dem Leser das Auffinden von bestimmten Kriterien erleichtert wird. Die in den einzelnen Kapiteln oft wiederholt zitierten Punkte dienen somit als nachschlagbare Begründungen für in der Diskussion angeführte Behauptungen.

Diese Arbeit wurde aus folgender Literatur zusammengestellt:

Tierexperim.: 74 Arb.		lit. Übersichtsarb.: 12	rein klinische Arb.: 23
Ratten	35		
Kaninchen	20		
Schweine	3		
Katzen	5		
Mäuse	3		
versch. Spez.	4		
Hunde	3		
Affen	1		

Darüber hinausgehende Literaturangaben, die im Text nicht aufgeführt sind, wurden zur allgemeinen Beurteilungserleichterung, bzw. aus Übersichtsgründen zugezogen.

2. Einführung:

Bereits Mitte des vorigen Jahrhunderts machte REID Versuche mit elektrischem Strom an denervierten Froschmuskeln. Seither wird die Erhaltung und Reinnervation denervierter Muskeln durch elektrischen Strom diskutiert. Bereits auf der Elektrotherapeuten-Versammlung zu Frankfurt im September 1891 (65) wurden damals folgende Fragen gestellt: " Inwieweit beruht der Erfolg der elektrischen Procedures auf Suggestionswirkung ? Lassen sich namentlich durch Elektrotherapie Wirkungen erzeugen, welche auf suggestivem Wege nicht zu erreichen sind ? "... " Übt der Strom heilende Kraft auf periphere Erkrankungen aus ? " ... " Wären nicht experimentelle Studien über die Wirkung elektrischer Ströme anzubahnen ? Wie hat man sich die Wirkung des Stromes auf erkrankte Gewebe vorzustellen ? " ... " Haben der galvanische und inducierte Strom je besondere Indicationen ? Welche sind dies ? " ... " Ist eine einheitliche Methodik der Applikation anzustreben ? " ... " Giebt (!) es Veränderungen des Leitungswiderstandes, welche bei bestimmten Erkrankungen immer wieder auftreten ? ..."

Konnte die Bearbeitung dieser Fragestellungen in modernerer Zeit zwar auf anderem Niveau angegangen werden, so stellen sie sich jedoch immer wieder, und scheinen bis jetzt nicht zur Gänze aufgeschlüsselt zu sein. Wenn auch in wenigen Punkten Einigkeit besteht, so jedoch im Prinzip der Schwellenbedingungen (Bedingung, damit eine Erregung und Kontraktion des Muskels eintritt).

Schwellenbedingungen:

- 1) Die Intensitätsänderung des Stroms muß genügend schnell sein, damit der betreffende Nerv oder Muskel nicht akkomodieren kann.
- 2) Der Strom muß eine Minimalzeit fließen.
- 3) Die Intensitätsänderung muß eine gewisse Schwellengröße erreichen.
- 4) Nicht der gesamt angewendete Strom ist ausschlaggebend, sondern der reine Nutzstrom, der die Faser und den Nerven durchläuft (= Stromdichte = Strom pro Fläche).

2.2. Begriffe und Definitionen:

2.2.1. Definitionen:

- 1) Als RHEOBASE bezeichnet man jene minimale Stromstärke, die bei Reiz am Nerveneintrittspunkt mit galvanischem Strom (über 300 ms Dauer, gemessen an 1 sec Dauer) nötig ist, um gerade eine Zuckung zu bewirken.
- 2) Die GALVANO-TETANUS-SCHWELLE ist jene Stromstärke in mA, die bei Abgabe von Dreieck-Einzelimpulsen eine erste, gerade sichtbare oder tastbare Muskelreaktion auslöst (Dreiecksschwellwert).
- 3) AKKOMMODABILIDÄT ist die Anpassungsfähigkeit des Muskels an langsam zunehmende Stromstärken.
- 4) CHRONAXIE ist die Impulsdauer in ms, gemessen mit der doppelten Rheobasen-Stromstärke, zur Auslösung der bei der Rheobase gesehenen Minimalzuckung.
- 5) I/T-KURVEN sind graphische Darstellungen der Beziehung zwischen Reizstärke und Reizzeit. Diese werden zur Prüfung des Funktionszustandes motorischer Nerven und Muskeln, also auch zur Verlaufskontrolle, bei Behandlung verwendet.

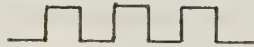
2.2.2 Stromformen

Dreieckstrom :



Rechteckstromformen :

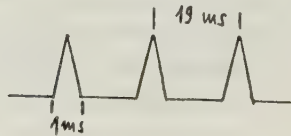
a) unidirektional :



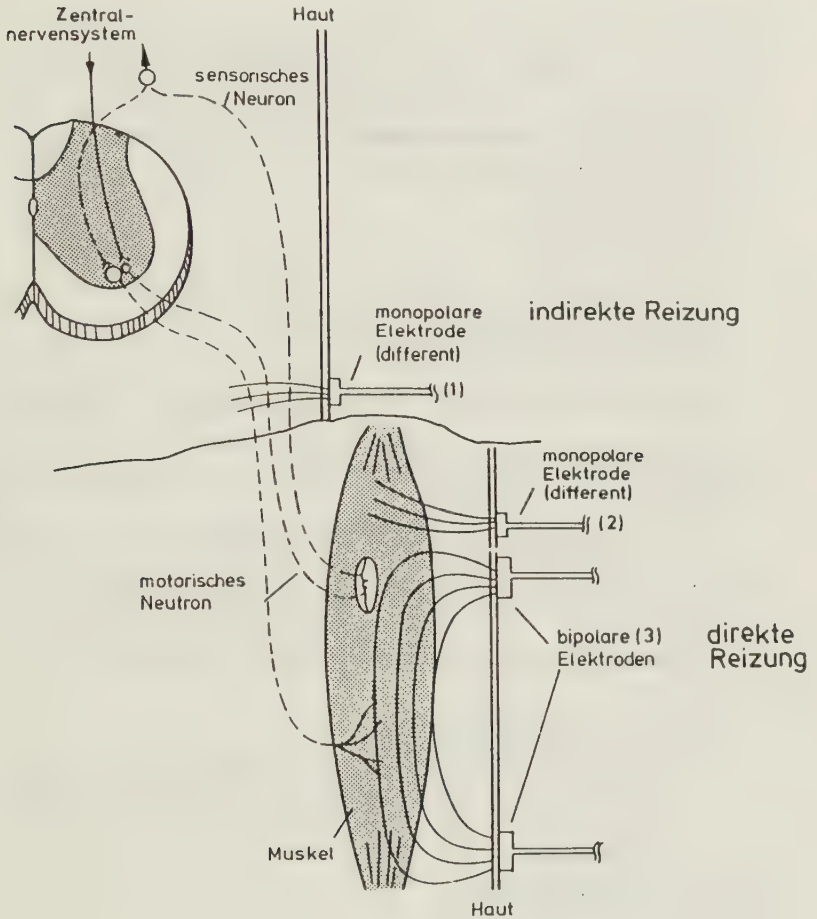
b) bidirektional :



Schwellstrom :

Neofaradischer Strom :
(Exponentialstrom)Reizstrom nach Kowarschik :
(Muskelquerdurchströmung)

2.3. Indirekte und direkte Reizung eines Muskels



Indirekte und direkte Erregung eines Muskels (77)

2.4. Veränderungen im Muskel und Nerven nach Denervation:

A) Morphologie - Gewicht (47, 70, 71, 72)

- 1) Gewichtsverlust
- 2) Faserdurchmesser nimmt ab (Verschmälerung der Myofibrillen bei erhaltender Myomereinteilung).

B) Physiologische Daten:

- 1) Fibrillation
- 2) Entartungsreaktion:
 - Chronaxie steigt (loofach)
 - Galvanische Erregbarkeitsschwelle sinkt.
- 3) Verlust des motorischen Punktes.
- 4) ACh-Sensibilität steigt über der gesamten Membran (ACh-Esterase sinkt).
- 5) Membran-Potential sinkt (ca. - 15 mVolt).
- 6) Membran-Widerstand steigt.
- 7) Akkommodationsquotient- Membranstabilität sinkt.
- 8) Kontraktionsverlangsamung.
- 9) Leistungsfähigkeit sinkt (tetanische Spannungsentwicklung pro Gewichtseinheit).
- 10) Durchblutung steigt (Verlust der vegetativen Gefäßregulation).

C) Histologie:

1) Histologische Entartungsreaktion.

- a) Autolytische Prozesse: Abnahme von subzellulären Strukturen und Myofibrillen (der eigentliche Faseruntergang ist erst nach Monaten bis Jahren zu beobachten).
- b) Kernveränderungen.

D) Intrazellulärer Metabolismus:

- 1) Glycogen-Konzentration nimmt ab.
- 2) Sauerstoff- und Glukoseumsatz steigt.
- 3) Kohlendioxid- und Lactatkonzentration steigen (Verschiebung : Aerober-Glukoseabbau vorher 45 %, jetzt 80 %).
- 4) Glycolytische Enzyme sinken pro Gewichtseinheit.

5) Proteinsynthese verändert :

- a) proteolytische Aktivität steigt.
- b) RNS steigt, Protein-Konzentration steigt (durch die gesteigerte Durchblutung ist auch das Substrat-Angebot hoch).
- c) Verschiebung: Kontraktile Proteine zu Ungunsten der sarcoplasmatischen Proteine.
- d) DNS-Synthese steigt ohne Eiweißvermehrung.

Die unter 5) aufgeführten Punkte stellen die Hauptunterscheidung zur Inaktivitätsatrophie dar.

Die unter A) bis D) zusammengefassten Veränderungen treten umso früher auf, je näher der Nerv am Muskel durchtrennt ist.

Veränderungen am peripheren NERVEN nach Durchtrennung (nach 6 Monaten) (68).

- 1) Abnahme der Erregungsleitung um 30 %.
- 2) Abnahme des Spitzenpotentials um 50 %.
- 3) Abnahme der Myelinscheidendicke um 27 % (das Axon atrophiert weit- aus weniger als die Myelinscheide).

2.5. Definition der Atrophierate:

Die Arbeitsgruppe um CLINTON (47) versuchte im Jahre 1936 eine Definition der Atrophierate zu erarbeiten. Als Versuchstiere wurden Ratten, Hunde und Schweine benutzt. Sie kamen dabei zu folgender Formel :

$$\text{Atrophierate } k = \frac{1}{t} \log \frac{A}{A - x}$$

" A " ist die Prozentangabe des Original-Muskelgewichtes, welches während der Atrophie verloren werden kann.

" x " ist der wirkliche Gewichtsverlust in der Zeit " t ".

3. Klinische Betrachtungen

3.1. Atrophie:

3.1.1. Wie weit darf die Atrophie fortgeschritten sein, daß eine Elektrostimulation noch Erfolg hat ?

3.1.1.1. Histologie, Gewicht, Volumen, Zeit,

BOWDEN und GUTMANN (57) vertreten die Ansicht, daß bis zu einer Zeit von drei Jahren keine Degeneration und kein Zerfall in Muskelfasern auftreten muß. Jedoch kann innerhalb dieses Zeitraumes in anderen Teilen des Muskels Schrumpfung und Zunahme des Bindegewebes bereits soweit fortgeschritten sein, daß eine Reinnervation nicht mehr möglich ist (140 Biopsien von 86 Patienten). Die wesentlichen Änderungen während dieser Periode sind: Progressive, aber ungleiche Schrumpfung der Fasern, progressive Entleerung des Sarkoplasmas der Endplatte, fortschreitende Veränderungen des Innervations- und Vaskularisationsmusters. Nach etwa drei Jahren kommen dann Zerfallerscheinungen zustande : Die Schrumpfung der Muskelfasern geht einher mit Längsspaltung zu individuellen Myofibrillen und mit Querbrüchen. Bis zu drei Monaten nach Denervation ist die Innervation intakt und die einzelnen Schwann'schen Zellen können bis zu ihrer Endplatte verfolgt werden. Nach etwa drei Monaten wird es zunehmend schwerer, die Endplatten zu identifizieren. Das Nervengewebe ist dann durch proliferiertes Bindegewebe ersetzt. Hierbei wäre noch zu bemerken, daß auch das Alter des Patienten, Muskelspannung, Sepsis und andere Erkrankungen die Atrophierate beeinflussen können. Die Muskelbiopsie kann hilfreich sein, das Ausmaß der Atrophie zu diagnostizieren, jedoch wird hierbei immer nur ein kleiner Teilausschnitt des Gesamtmuskels erfaßt, der nicht Repräsentant des Gesamtmuskelzustandes sein muß. Ab drei Jahren nach der Denervation ist es sehr fraglich, ob eine generelle Genesung noch möglich ist.

Kritik: Wie aus dem Text ersichtlich wird, bezweifeln die Autoren selbst die Zuverlässigkeit des biopsischen Querschnittes.

ECHTERNACH (51) beschreibt die erfolgreiche Elektrobehandlung einer Radialisdruckparese, mit einem verzögerten Therapiebeginn von vier Wochen.

Kritik: Da es sich um eine Einzelfallbeschreibung ohne Gegendarstellung handelt, ist der Beweis für die Wirksamkeit der Elektrotherapie hiermit nicht gegeben. Zusätzlich wurden Wassermassagen und Bewegungsübungen durchgeführt.

Ein automatischer Stimulationsapparat reizte die entsprechenden Muskelgruppen 6-8 Stunden täglich. Dieses Training wurde auch selbständig von dem Patienten zu Hause durchgeführt. Da es sich bei dem Mann offensichtlich um einen Alkoholiker handelte, muß das täglich durchgeführte Training in Zweifel gezogen werden.

Sh. JACKSON (52) ist der Ansicht, daß die Wirksamkeit der galvanischen Therapie mit dem Abstand der Tage nach der Verletzung abnimmt. Wird keine galvanische Therapie durchgeführt, dauert die Degeneration ca. 400 Tage, nach diesem Zeitraum sei kein signifikanter Schwund mehr beobachtbar - die Maximalatrophie ist erreicht. Der Wiedereintritt der Funktion sei in jenen Muskeln eher zu erwarten, deren Schwund von vorne herein mit galvanischer Therapie gebremst wurde.

Kritik: Die Ergebnisse dieser Arbeit basieren auf der Beobachtung von lediglich 12 erwachsenen Patienten und 7 Kindern, bzw. den Ergebnissen aus anderen klinischen Arbeiten.

Nach Beobachtung von 150 Patienten über längere Zeiträume, will J. BATEMAN (56) die Forderung des baldmöglichsten Behandlungsbeginnes erheben.

Kritik: Im Text selbst werden lediglich die Vorteile und Anwendungsmöglichkeiten eines Miniaturstimulators dargestellt.

Auf der Elektrotherapeuten-Versammlung 1891 in Frankfurt wurden Reinnervationen auch ohne Behandlung nach einem Zeitraum von bis zu 9 Monaten geschildert (EDINGER, LAQUER e.a.) (65)

3.1.1.2. Elektrische Messungen, Kraft und Leistung

PIA, KUNZE, MIEHLKE e.al (60) (Wissenschaftlicher Beirat der Bundesärztekammer) fordern eine Einstellung der Therapie nach drei Monaten, sollte bis dahin kein Erfolg eingetreten sein. Dieses Gremium vertritt die Meinung, daß der betroffene Muskel ohne Reinnervation nicht erhalten werden könne. Interessante Aspekte werden von ROSSELLE e.a. (53, 54) aufgeführt. Es wird behauptet, daß das elektromyographische Fibrillationsausmaß den Ernährungszustand des Muskels direkt wiedergibt. Das würde heißen, daß die Gesamtfibrillationspotentiale den denervierten Muskelfasern entsprächen. Je länger der Fibrillationszustand auf einem bestimmten Niveau erhalten werden könne, desto besser sei der Zustand des Muskels. Bei stimulierten Muskeln bleibt ein Maximalwert bis zu sechs Wochen bestehen, wohingegen

er in der selben Zeit bei nicht stimulierten Muskeln um ca. 2,5 abnimmt (Anfangsmaximalwert 3,8 bis 4,5). Wird der Wert 1 erreicht (unstimulierte Muskeln wesentlich schneller), seien die Ernährungsbedingungen für den Muskel zum Zeitpunkt der zu erwartenden Reinnervation bereits sehr schlecht.

3.1.2. Hat die Elektrotherapie überhaupt einen Einfluß auf die Atrophie ? (Dauer der Stimulation, Stromart, Applikationsart, Kontraktionsart)

3.1.2.1. Positive Ergebnisse:

Wie schon oben erwähnt, konnte ROSSELLE (53,54) an einem großen Patientengut mit genauen Angaben der Schädigungen feststellen, daß der Fibrillationswert als direktes Maß der Atrophie geltend, bei stimulierten Muskeln wesentlich länger auf höherem Niveau erhalten werden konnte, als bei nicht stimulierten Muskeln. Auch die Genesungsrate, bzw. -geschwindigkeit der behandelten Patienten war gegenüber dem unbehandelten Patientengut wesentlich beschleunigt. Er hält die Elektrotherapie für die aussichtsreichste Rehabilitationsmethode für total denervierte Muskeln, bei der die Muskelfasern in einem eutrophischen Zustand erhalten blieben. Elektromyographische Überwachungen seien nötig, um die Parameter der Elektrostimulation an die jeweiligen Gegebenheiten anzupassen.

Kritik: Keine Angaben der Stromform. *

MIEHLKE (55) beschreibt erfolgreiche Behandlungen von Facialispareesen mit faradischem Strom. Eine Abnahme des Volumenverlustes stimulierter Muskeln der Hand gegenüber nicht stimulierten Muskeln konnte JACKSON (52, 105) bei Anwendung von galvanischem Strom feststellen. Es wird jedoch erwogen, daß die Elektrotherapie bei größeren Muskeln möglicherweise nicht so wirkungsvoll sein könne, da ein tolerierbarer Reiz nicht die gesamte Muskelmasse durchströmen könne. Der wissenschaftliche Beirat der Bundesärztekammer (PIA, KUNZE, MIEHLKE e.a.) (60) räumt ein, daß die Atrophierate bei denervierten Muskeln durch Anwendung von Exponentialströmen möglicherweise verringert werden könne. BATEMAN (56) untersuchte an 150 Patienten die Wirkung eines Miniatur-Galvano-Stimulators. Er kam dabei zu dem Ergebnis, daß der Muskel einem der Situation angeglichenen Idealzustand erhalten werden könne. Jedoch würde die Elektrostimulation nicht ewig den Verfall des denervierten Muskels verhindern können. Baldiger Beginn der Therapie und häufige tägliche Anwendung wird gefordert.

* Über die Vergleichbarkeit der behandelten und unbehandelten Kollektive fehlen jegliche Angaben.

Anhand von Handflächenabdrücken meinten LIU und LEWEY (59), eine begrenzte Zunahme des Muskelvolumens aufgrund von Elektrotherapie feststellen zu können. Sie benutzten dabei Schwellstrom (rautenförmig auf- und absteigender Wechselstrom) mit einer Frequenz von 8-10 Hz. Die Elektrotherapie könne, so GUTMANN (71) den Verlust an Proteinen verlangsamen, nicht aber folgendes vermeiden : Fibrillation, Ansteigen der ACh-Empfindlichkeit, Ansteigen der Desoxiribonucleinsäure (DNS). In einer anderen Arbeit (68) schreibt der selbe Autor: " Wir konnten bei galvanischer Therapie eine günstige Wirkung auf den trophischen Zustand der Muskulatur feststellen, ohne daß jedoch ein beschleunigter Regenerationsprozess eingetreten wäre." SUNDERLAND (66) meint, Elektrostimulation verzögere die Denervationsatrophie des betroffenen Muskels. Zumindest hätte sie einen befriedigenden Wert in der Aufrechterhaltung des denervierten Muskels bis sich die Reinnervation anzeige. Allerdings hänge der Effekt der Elektrostimulation bezüglich der Atrophieverzögerung von Faktoren wie Stimulationsstärke , Größe und Sitz des Muskels, Frequenz und Dauer jeder Behandlung und dem Zustand des denervierten Muskels ab. Kritik: Bei einem großen Teil der hier aufgeführten Arbeiten setzen sich die Ergebnisse aus zum Teil kritikloser Übernahme von Daten anderer Arbeiten, bzw. tierexperimentellen Ergebnissen aus literarischen Übersichtsarbeiten zusammen.

3.1.2.2. Indifferente, bzw. negative Ergebnisse.

Bereits 1891 auf der Elektrotherapeuten-Versammlung zu Frankfurt sehen einige Referenten den Effekt der Elektrostimulation als nicht erwiesen an (65). MERLETTI und PINELLI (64) stellen fest, daß der trophische Zustand des Muskels auch durch Vibrationstechnik gefördert werden kann. Sie ziehen damit in Zweifel, ob die Elektrostimulation die einzige Methode zur Erhaltung des Muskels darstelle. Die Elektrostimulation würde vielmehr sogar die verschiedenen Erregbarkeitstypen der Membranen, die in denervierten Muskelfasern vorhanden sind, herabsetzen*. Dieser Effekt könnte sich möglicherweise negativ auf die gleichzeitige Nervenausprossung auswirken. Keine signifikanten Unterschiede zwischen behandelten und unbehandelten (E.-Therapie) Facialispareesen konnte TAVERNER (62, 63) bei einer Anwendungsdauer bis zu sechs Monaten feststellen. Auftretende Kontrakturen konnten nicht mit der Elektrotherapie in Zusammenhang gebracht werden.

* (Membranerregbarkeit versch. Muskelfasertypen)

Auch DOUPE und BARNES e. a. (58) konnten keinen nützlichen Effekt der herkömmlichen Elektrostimulation erkennen, außer insofern, als daß sie den Trainingseffekt unterstützte und die Mobilität des Gewebes erhielt. Ihrer Meinung nach wären stärkere Kontraktionen erforderlich, die jedoch wegen der Schmerzschwelle und der Hautreaktionen nicht durchführbar seien. Ein Nutzen hinsichtlich der Rückkehr der motorischen Kraft sei nicht gegeben. Nach E. SENN (69) könne durch die Reizstromtherapie eine Entartungsveränderung des Muskels bestenfalls verzögert, nie aber verhindert werden. Durch nozizeptive Reizung könne - so GUTMANN (71) - sogar eine Atrophie ausgelöst werden. Die metabolischen Veränderungen entwickelten sich hierbei schneller und stärker als nach einer Denervation.

3.2. Reinnervation

3.2.1. Wie lange nach Denervation ist noch mit einer erfolgreichen Reinnervation zu rechnen?

Der wissenschaftliche Beirat der Bundesärztekammer (PIA, KUNZE e.a.) (60) einigte sich auf einen Zeitraum von 3 Monaten, wonach man mit keiner Innervation mehr zu rechnen habe.

D. TAVERNER (63) : 6 Monate nach Denervation wird die Wahrscheinlichkeit einer Reinnervation geringer, nach 9 Monaten scheint dahingehend keine Möglichkeit mehr offen zu sein.

BOWDEN und GUTMANN (57) : Bis zu 3 Monaten nach Denervation ist die Innervation intakt und die einzelnen Schwann'schen Zellen können bis zu ihrer Endplatte verfolgt werden. Nach etwa drei Monaten wird es zunehmend schwerer, die Endplatten zu identifizieren und das Nervengewebe ist durch proliferiertes Bindegewebe ersetzt.

EDINGER e.a. (65) gaben einen Zeitraum von bis zu 9 Monaten an.

DOUPE, BARNES e.a. (58) beobachteten Zeiträume von einem bis zehn Monaten.

MIEHLKE (55) rechnet bei schwereren Denervationsfällen mit 3 bis 6 Monaten bis zur Reinnervation, in einem Sonderfall sogar bis zu 2 Jahren.

Kritik: Ein aussagekräftiger Vergleich der einzelnen Ergebnisse dieser Arbeiten ist leider nicht gegeben, da es sich um die verschiedensten Nervenverletzungen, verschiedene Nervenspecies, mit und ohne Nerven-naht handelte.

3.2.2. Hat die Elektrotherapie Einfluß auf die Reinnervation ?

3.2.2.1. Positive Ergebnisse:

Wie schon früher erwähnt, konnte ROSSELLE (53, 54) bei einer behandelten Patientengruppe mit Facialispareesen innerhalb von 50 Tagen Reinnervationszeichen erkennen, wohingegen sich diese bei der Kontrollgruppe erst nach 150 Tagen zeigten. (Kritik wie S. 12)

EICHHORN (77) beschreibt die Verbesserung von Reinnervationszeichen bei reizstromtherapierten Kindern. Da es sich bei diesen Beobachtungen um ERB'sche, bzw. KLUMPKE-Lähmungen handelt, das Patientengut bisher nur aus Kindern im Wachstumsalter bestand und die Anzahl der Fälle noch sehr gering ist, sollten diese Ergebnisse im Sinne der Fragestellung der Arbeit noch mit Zurückhaltung betrachtet werden. Die Ergebnisse noch laufender Studien können sicherlich in nächster Zeit erwartet werden.

Auch ECHTERNACH (51) führt die Reinnervation einer Radialisdruckparese an einem Patienten auf die erfolgreiche Elektrobehandlung zurück.

Kritik: Wie schon früher erwähnt, fehlen in letzterer Darstellung natürlich die Gegenkontrollen. Bei den Ausführungen von ROSSELLE (54) muß erwähnt werden, daß es sich um ein großes Patientengut mit genauer Berücksichtigung der Nervenverletzung handelt.

3.2.2.2. Indifferente und negative Ergebnisse:

Bei kompletten Denervationen im Bereich des Facialisgebietes konnte TAVERNER (62) niemals vollkommene Wiederherstellung erreichen. Auch DOUPE (58) konnte keinen Unterschied zwischen behandelten und nicht behandelten Gruppen mit peripheren Nervenverletzungen beobachten. Für den ärztlichen Beirat der Bundesärztekammer (60) gilt es als gesichert, daß die Elektrotherapie die Reinnervation nicht beschleunigt. Eine mögliche Behinderung der Nervenaussprossung sieht MERLETTI (64) in der Beeinträchtigung der Erregbarkeit der Membranen durch die elektrische Reizung. Die Arbeitsgruppe von MUCHA (99) berichtet von keinerlei signifikanten Unterschieden zwischen behandelten und nicht behandelten (E.-Therapie) Gruppen

mit traumatisch bedingten Peroneuspareesen. Bereits auf der Elektrotherapeuten-Versammlung zu Frankfurt 1891 wurde von EDINGER e.a. (65) die Reinnervationsförderung durch elektrische Reizung in Frage gestellt. Man berichtete auch von Reinnervationsfällen ohne Behandlung. Daß die Elektrostimulation keinen Einfluß auf das Wachstum des Axons ausübe, weiß SUNDERLAND (66) zu berichten. PINELLI (67) zitiert: ... " andererseits wurde kürzlich bewiesen, daß die Elektrostimulation den Muskel vor kollateraler Innervation bewahrt, wenn sie während der Innervationsphase durchgeführt wird." Daß sich die Reizstrombehandlung während der ersten Innervationszeiten, bzw. nach Abschluß der Innervation eher als schädlich erweisen könne, berichten folgende Autoren :

MUCHA (99) e. a.: Reizstrom bis zu bestimmten Reinnervationszeichen, dann Absetzen dieser Exponentialströme (Beurteilungskriterien : Rheobase, Chronaxie, Akkommodationsquotient, Sensibilitätsprüfung)

JACKSON e.a. (105,52): Die Behandlung sollte nur bis zur Reinnervation durchgeführt werden (erste willkürliche Bewegungen).

KAESER (70): "Die Elektrotherapie sollte nur solange durchgeführt werden, bis erste Willkürbewegungen möglich sind. Von diesem Zeitpunkt an ist die Elektrotherapie eher als schädlich zu betrachten.

... Manche Autoren haben die Ansicht, daß eine Weiterbehandlung nach den ersten Regenerationszeichen die Gefahr der Kontraktur erhöht."

SUNDERLAND (66): "Nach der Reinnervation ist die aktive Bewegung nützlicher als die Elektrotherapie."

MARTIN (96): Nach der Reinnervation sei die galvanische Stimulation weder der Erholung noch der Verschlechterung des gegenwärtigen Zustandes dienlich.

Tabelle 1

Aus klinischen Arbeiten

Auswirkungen der E.-Th.	erwünscht	nicht erw.	gilt als nachgewiesen (Lit.-Stelle) daß ↑ od. ↓ für ...	gilt als nicht nachgewiesen daß ↑ od. ↓ für Lit.
ACH-Sensibilität		71 ↑	71 ↑	
Erregbarkeitsschwelle		fällt	möglicherweise (64) Reinnervation ?	
Fibrillationsaktivität	53, 54 ↑	71 ↑	53, 54 ↑ kann erhalten werd. 71 ↑ kann nicht gestoppt werden 53/54	
Membranwiderstand				keine Angaben
Hautwiderstand				keine Angaben
Gewöhnungsreaktion		↑	76 ↑	
Spasmen, Hypertonus des M.		55 ↑	55 ↑	
Kontraktur	vorhanden	nicht vorh.	59 Kathodenwulst *	62 ↑
Kraft	steigt			58 ↑, 63 ↑, 99 ↑
Leistung	steigt			keine Angaben
Durchblutung	68 ↑, 66 ↑		68 ↑, 66 ↑	
Schmerzen		69	bei langandauernden Δ-Impulsen 69	
Muskelvolumen (z.B. Handflächenabdrücke) Gewicht	Erhaltung		59 ↑, 68 ↑, 56 ↑, 105 ↑, 52 ↑	

Symbolik: "fällt ↓", "steigt ↑"

*möglicherweise meint der Autor "Kontraktion", er spricht aber von Kontraktur

3.4. Stromarten

Die wenigsten Autoren machen genaue Angaben über die Anwendungsweise der Reizstromtherapie. Es wird meistens nur von Elektrotherapie, faradischer oder galvanischer Stimulation gesprochen.

3.4.1. Allgemeines:

Da denervierte Muskeln auf kurze Stimuli nicht reagieren, fordert BANKOV (98) lange Rechtecksimpulse von 200 - 1000 ms. Weiterhin empfiehlt er langsam ansteigende Dreiecksimpulse oder exponentiellen Strom, da hierbei nur denervierte Muskeln kontrahieren, nicht jedoch intakte. Seiner Meinung nach haben Rechtecksimpulse eine effektivere Wirkung als Exponentialimpulse.

SENN (69) hingegen lehnt lange dauernde Dreiecksströme aus folgenden Gründen ab:

1. Die Kontraktionen seien schmerzhaft - dadurch möglicherweise Verschlechterung der Trophik aller beteiligten Gewebe.
2. Die pro Tag mögliche Anzahl der Kontraktionen reiche bei weitem nicht aus, irgendeinen wirksamen Trainingsreiz zu setzen.
3. Die Kontraktionserscheinung bleibe im Wesentlichen auf das Gebiet der Kathode beschränkt, weil die ebenfalls im Entartungsprozess befindliche Muskelfasermembran sehr bald die Fähigkeit verlieren würde, eine normale Erregung zu generieren, die sich fortplanze. Es komme vielmehr im Gebiet der Kathode zu einer lokal bleibenden sogenannten Kontraktur, die als "Kathodenwulst" bezeichnet wird. (Bemerkung: Der Autor meint mit "Kontraktur" möglicherweise auch "Kontraktion"). Diese örtlich beschränkte "Kontraktur" bürge die Gefahr in sich, die nicht am Kontraktionsprozess beteiligten Gebiete des Muskels zu überdehnen. Da mit den Dreiecksimpulsen solche Kathodenwülste sehr lange erzeugt werden könnten, verleite diese sichtbare Reizwirkung zur Annahme, der Muskel spreche immer noch an, und die Reizmethode sei wirksam.

Der Autor spricht die Möglichkeit der mittelfrequenten Wechselstromtherapie an, die klinisch bisher noch nicht getestet sei. Man könne damit den gesamten Muskel schmerzlos über Stunden zur Kontraktion bringen.

DUENSING (74) wiederum favorisiert langsam anschwellenden galvanischen

Strom. (= Schwellstrom) Begründung: Entartete Muskeln reagieren noch auf anschwellende galvanische Reize, bei denen ein normaler Muskel nicht mehr reagiert (= Entartungsreaktion). Der Vorteil dieser Methode wäre, daß es kein " Durchschlagen " auf gesunde Muskelgruppen gäbe. Diese Tatsache wäre vor allen Dingen auch diagnostisch nutzbar. Die Vorteile von Vierecksimpulsen beschreibt OFFNER (75) folgendermaßen: Vierecksimpulse erforderten nur 22 % mehr Stromstärke als die beste Wellenform, wohingegen exponentiell fallende Ströme 85 % mehr Stromstärke verlangen würden. Sinuswellenstimulation würde bereits die mehrfache Stärke erfordern. Die Dauer der Vierecksimpulse sollte annähernd 1,26 mal die Zeitkonstante der Excitation betragen, das würde heissen: 1,82 mal die Chronaxie.

3.4.2. Galvanischer Strom einschließlich aller Modulationsarten

3.4.2.1 Eher positiv zu bewertende Ergebnisse

JACKSON (52) bezweifelt den Wert der galvanischen Therapie nicht, zumindest sei eine Wirkung auf die kleineren Handmuskeln gegeben. Die größeren Extremitätenmuskeln bedürften möglicherweise einer wesentlich intensiveren Behandlung. Der Volumenverlust denervierter Handmuskeln konnte über längere Zeit gering gehalten werden. Bemerkung: Die Patienten-Gruppe bestand aus 12 Erwachsenen und 7 Kindern. Elektromyographische Überwachung und strikte Durchhaltung ohne Unregelmäßigkeiten werden gefordert.

Diese Studie wurde später auf 92 Patienten erweitert (105), wobei nähere Angaben über die Behandlungsform erfolgten:

Anwendung von galvanischem Strom sechsmal pro Woche, 90 Stimuli für jede Muskelgruppe, sodaß gute Kontraktionen erfolgten, insgesamt 30 Kontraktionen pro Minute, sodann kurze Pause.

Kritik: Von der Patientengruppe hatten nur 54 komplette Nervenlähmungen, die übrigen waren nur teilweise gelähmt. Anscheinend wurden jedoch die Ergebnisse beider Gruppen in der Auswertung zusammengeworfen.

Mit unidirektionalen Rechteckimpulsen von 20 - 80 V, Schwellenintensität (Ampérezahl) angeglichen, konnte ECHTERNACH (51) die Radialisdruckparese eines einzelnen Patienten beheben. Vier Wochen nach dem Ereignis wurde mit einem 6 - 8stündigem galvanischen Training begonnen,

das 6 Wochen, bis zur vollständigen Wiederherstellung , dauerte.

Kritik: Wie schon früher erwähnt, kann mit einem Einzelfall kein Beweis geliefert werden.

BATEMAN (56) hebt in seinem Bericht die lange dauernde Gleichstrombehandlung hervor, um die Atrophierate einzudämmen. Die Behandlung sollte frühzeitig, in häufigen Intervallen und über lange Perioden ausgeübt werden.

Bemerkung: In dieser Arbeit wird der Vorteil eines Miniaturstimulators hervorgehoben, der an einer Gruppe von 150 Patienten erfolgreich getestet worden sein soll.

In einer Übersichtsarbeit von GUTMANN (68) wird die erfolgreiche Verhinderung der Muskelgewichtsabnahme durch galvanische Therapie beschrieben. Mit einer täglichen Durchführung von 2x 30 Minuten konnten folgende Ergebnisse erzielt werden: Gewichtsabnahme bei therapierten Muskeln 17 %, in der Gegengruppe 59 %.

Kritik: Diese Ergebnisse werden zwar auf die Klinik übertragen, stammen jedoch aus einem fragwürdigen Tierversuch. Die Zuverlässigkeit dieses Versuches wird deshalb angezweifelt, da keine genauen Angaben über die Entstehung der Ergebnisse erfolgten. Mögliche Schmerzreize (Supramaximalreize), die dem Menschen nicht zugemutet werden können, jedoch teilweise zu guten Ergebnissen führten, können nicht auf den Menschen übertragen werden. Zudem ist der Versuchstiermuskel meistens erheblich kleiner, als der eines Menschen, wodurch eine wesentlich bessere Stromausnutzung gewährleistet ist.

Aus der Zusammenstellung vieler literarischer Arbeiten resümiert KAESER (70) :

1. Allgemein wird die Reizung mit galvanischem Strom gefordert, in besonderen Fällen mit exponentiellem Strom.
2. Die Behandlung sollte so früh wie möglich beginnen (innerhalb von 10 Tagen) und 2 - 3 mal täglich für kurze Zeit durchgeführt werden. (Nur 4 Autoren fanden, daß die Behandlung alle 2 - 3 Tage genüge)
3. Die Behandlung sollte nur bis zu den ersten Willkürbewegungen durchgeführt werden, von diesem Zeitpunkt an sei die Elektrotherapie eher schädlich.
4. Wegen der enormen Ermüdbarkeit des denervierten Muskels sollte nicht

länger als 30 sec. bis höchstens einige Minuten behandelt werden, dann eine Pause von wenigstens 10 Minuten eingehalten werden.

5. Die Ansicht der meisten: Reizstromtherapie sollte nur bei kompletten Lähmungen angewandt werden, da willkürliche Übungen die Trophik des Muskels weit besser erhalten könnten.

6. Manche Autoren hätten die Ansicht, daß eine Weiterbehandlung nach den ersten Regenerationszeichen die Gefahr der Kontraktur erhöhe.

7. Die faradische und indirekte Reizung wird abgelehnt, da hierdurch keine Kontraktionen ausgelöst werden könnten.

8. Als bescheidene Schlußfolgerung könne man die Verzögerung der Inaktivitätsatrophie hinnehmen, die jedoch bei den proximalen Extremitätenmuskeln erst bewiesen werden müsse.

Kritik: Die gesamten Ergebnisse dieser Arbeit basieren auf den bunt-zusammengewürfelten Ergebnissen klinischer und tierexperimenteller Arbeiten. Zum Teil sind auch nur Meinungen der einzelnen Autoren wiedergegeben, die mit keinerlei Ergebnissenachweisen belegt sind.

Auch SUNDERLAND (66) spricht sich für die galvanische Therapie aus und lehnt den faradischen Strom ab. Er befürwortet ein tägliches Training von 20 - 30 Minuten mit einer Impulsfrequenz von 30 / Min.. Er gibt folgende Bedingungen an, unter denen die Elektrostimulation äußerst effektiv auf die Verzögerung der Denervationsatrophie wirksam sein soll:

1. Starke Kontraktionen müssen erreicht werden, um überhaupt einen Effekt hervorzurufen, schwache Stimuli sind ineffektiv.
2. Ermüdung: Da der atrophierte Muskel schneller ermüdet als der gesunde, ist Vorsicht geboten. Erholungsintervalle zwischen den Stimuli von 1 - 10 Minuten werden gefordert.
3. Die Behandlung ist äußerst effektiv bei oberflächlich platzierten Muskeln, die gut zugänglich sind, letztlich aber auch für tiefe und unzugänglichere.
4. Je kleiner der Muskel, desto besser sind starke Kontraktionen auslösbar.
5. Galvanischer Strom wird bevorzugt.
6. Der Effekt der Elektrotherapie ist proportional zur Anzahl der Sitzungen. Zweimal täglich sei besser als einmal.

7. Behandlungsdauer: Befriedigende Ergebnisse wurden erzielt bei einer Rate von 30 Stimuli pro Minute etc.
8. Obwohl die Elektrostimulation denervierter Muskeln die Atrophie verzögert, kann das bereits verlorene Muskelgewicht während der Denervationsperiode nicht wieder erlangt werden.
9. Die Elektrostimulation hat keinen Einfluß auf das Wachstum des Axons.
10. Nach der Reinnervation ist die aktive Bewegung nützlicher als die Elektrotherapie.

Kritik: Auch diese Ergebnisse basieren überwiegend auf anderen Arbeiten, größtenteils tierexperimenteller Herkunft, sie werden jedoch bedenkenlos auf den Menschen übertragen.

3.4.2.2 Indifferente bis negative Ergebnisse:

PIA, KUNZE e.a. (60) (Wissenschaftlicher Beirat der Bundesärztekammer) sehen eine relative Indikation für die Elektrobehandlung in der Total-lähmung eines Muskels. Die Atrophie werde nicht verhindert, bestenfalls verzögert. Dreimal wöchentlich sollten 10 - 15 isometrische Kontraktionen pro Sitzung durchgeführt werden. Stromstöße von 100 ms und Einzelreizungen von Muskelgruppen werden dabei gefordert. Es sollten dabei nur Exponentialströme verwendet werden. Für sie gilt es als gesichert, daß eine Reinnervation durch diese Therapie nicht beschleunigt werde.

Keine signifikanten Unterschiede zwischen behandelten und nicht behandelten Patientengruppen konnte TAVERNER (62,63) bei folgenden Anwendungen beobachten: Unterbrochener galvanischer Strom, dreimal täglich Minimalkontraktionen, Impulsdauer 100 ms, insgesamt dreimal wöchentlich durchgeführt. Vor der Behandlung wurden die Patienten 10 Minuten lang mit Infrarotlicht bestrahlt. Bei der Gruppe der kompletten Denervation konnte die Wiederherstellung niemals vollkommen erreicht werden. Es handelte sich bei diesen Studien um reine Facialisparesen.

Unterbrochenen Gleichstrom wandte DOUPE (58) bei peripheren Nervenverletzungen unter Berücksichtigung der Durchtrennungshöhe des Nerven an. Es wurde unterschieden zwischen Fällen mit, bzw. ohne Nervennaht. 15 - 30 leichte Kontraktionen wurden für jeden Muskel bei longitudinalem Stromdurchfluß 5 - 6 mal wöchentlich angewandt. Bei einer dieser Gruppen wurde zu-

sätzlich Massage verordnet. Er kam dabei zu dem Ergebnis, daß stärkere Kontraktionen erforderlich wären, diese wegen der Schmerzschwelle dem Patienten aber nicht zugemutet werden könnten. Auch die Haut würde dabei in Mitleidenschaft gezogen. Im Vergleich der Gruppen konnte kein signifikanter Unterschied festgestellt werden. Die Beurteilung der wiederkehrenden Kraft wurde nach folgenden Kriterien von 1 - 5 bewertet : Spontane Kontraktion, Bewegung im Gelenk, Bewegung gegen einen Widerstand, angemessene Kraft, volle Kraft .

Kritik: Der Autor gibt selbst zu, daß diese Beurteilung viel persönliche Freiheit bezüglich der Einschätzung beinhaltet. Er gibt auch zu, daß im Zweifelsfalle auch Mittelwerte angenommen wurden. Bemerkung: Bei der Gesamtzahl von offensichtlich nur 12 Patienten unterliegen die Ergebnisse damit sicherlich dem Fehler der sogenannten zentralen Tendenz.

MUCHA (99) e.a. teilte 56 Patienten mit frischer, traumatisch-bedingter kompletter Peroneusparese in 4 Gruppen ein:

1. Krankengymnastische Monotherapie.
2. Vorbehandlung mit stabiler Galvanisation, ansonsten wie unter " 1 " .
3. Anwendung von Exponentialstrom, ansonsten wie unter " 1 " .
4. Kombinationstherapie aus allen oben genannten Anwendungen.

Er kam dabei zu folgenden Ergebnissen: 1. Die Vergleichsgruppe ohne Zusatztherapie erzielte während des Verlaufs ein besseres Ergebnis als die übrigen. 2. Ein Jahr nach der Nervenläsion wurden unter den Vergleichsgruppen keine signifikanten Unterschiede bezüglich der Fußheberkraft mehr festgestellt. Daraus resultieren die Ansichten: Die Elektrotherapie plus Übungsprogramm hat weder eine hemmende, noch fördernde Wirkung auf den Therapieverlauf. Die krankengymnastische Therapie als Basis für Peroneuslähmungen wird befürwortet. Die galvanische Therapie zusätzlich zur üblichen Reizstromtherapie plus Gymnastik ist möglicherweise vernachlässigbar. Letztlich weist MARTIN (96) darauf hin, daß die galvanische Stimulation sich nicht gerade als Helfer der Rekonvaleszenten nach der Reinnervation erwiesen habe.

3.4.3. Faradischer Strom und andere:

MIEHLKE (55) wandte bei peripheren Facialisparesen faradischen Strom an.

Die Behandlung wurde nur so lange fortgesetzt, bis leichte Bewegungen eigenständig durchgeführt werden konnten. Zweimal täglich wurde jede Muskelgruppe 15 x stimuliert. In späteren Stadien der Genesung tendierte die mimische Muskulatur zur Hypertrophie: Kontrakturen, assoziierte Bewegungen und sekundäre faciale Spasmen traten auf. Diese unerwünschten Komplikationen führt der Autor auf zu lange Behandlung mit faradischem Strom zurück. Die ersten Erfolge dieser Therapie sah der Autor bei gewissenhafter Durchführung bereits nach zwei bis drei Wochen. In schwereren Fällen ließ der Erfolg 9 Wochen bis 6 Monate auf sich warten.

LIU e.a. (59) bedienten sich einer besonderen Stromart: " waxing and waning current of diamond shape". Möglicherweise handelt es sich hierbei um sogenannten Schwellstrom. Da aber von einem rautenförmigen Oszillationsmuster gesprochen wird, besteht auch die Möglichkeit des sogenannten Interferenzstromes. Täglich wurde mit einer Frequenz von 8-10 Hz und bis zu 15 mA 10 Minuten lang gereizt. Die Gruppe bestand aus 22 total denervierten und 10 teilweise reinnervierten Patienten, die Verletzungen bezogen sich auf den Nervus medianus sowie Nervus radialis. Eine isotonische Kraftentwicklung wurde dabei angestrebt (Kontraktion gegen Widerstand). Ergebnisse: Stimulierte Muskeln - 40,5 % der denervierten Muskeln und 60 % der teil-reinnervierten Muskeln zeigten eine Volumenzunahme.

Nicht stimulierte Muskeln blieben unverändert oder zeigten größere Atrophie. Kritik: Die Ergebnisse basieren auf den Auswertungen, bzw. Vermessungen von Handflächenabdrücken. Es wurden Zunahmen zwischen 5 % (0,1 cm²) und 29 % (0,5 cm²) verzeichnet. Nicht nur, daß es sich bei dieser Methode um eine äußerst unzureichende handelt, so wird auch nur ein Teil der befallenen Muskelgruppen berücksichtigt (Innervationsgebiete).

Zuletzt sei noch ROSSELLE (54) e.a. (53, 54) genannt, der mit " Elektrotherapie " die Gesamtfibrillationspotentiale des denervierten Muskels hochhalten konnte. Wie schon früher erwähnt setzt er diese Potentiale gleich der Anzahl der denervierten Muskelfasern. Zugleich betrachtet er das elektromyographisch dargestellte Fibrillationsausmaß als Stand der Muskelernährung.

Kritik: Es erfolgten keine Angaben über Strom - bzw. Behandlungsart.

3.5. Zusätzliche Therapieanwendungen:

Von einigen Autoren werden zusätzliche, bzw. alternative Therapieverfahren angesprochen. So behauptet MERLETTI (64), daß die Muskeltrophik auch durch Vibrationstechnik erhalten werden könne. Eine Muskelvordehnung zur Senkung der Atrophierate wird von KAESER (70) angesprochen. Infrarotbestrahlung, Massage und krankengymnastische Therapie werden ebenfalls aufgeführt. Eine Zusammenstellung dieser Kombinationen kann der Tabelle 2 entnommen werden.

Tabelle 2

Autor	Häufigkeit d. Anwendung	Kontraktionsart	Stromart	Frequenz/ Dauer	zusätzl. Anwendungen, Besonderheiten	Auswirkung
64 Meletti					Vibrationstechnik	auch ohne E-Th. Trophik ↑
72 E. Senn					Muskeldehnung	Atrophierate ↓
98 Bankov		max. mögl. Kontraktion	langs. steig. Dreiecks- od. Exponentialstrom, Rechtecksimpulse	200 ms - 1000 ms	EMG-Überwachung	Muskelerhaltung
74 Duensing		Zuckung	langs. ansteigender galvan. Strom			diagnostisch u. therapeutisch verwendbar
75 Offner			Vierecksimpulse	1,82 mal Chronaxie		gute Kontraktion
109 Jackson	6x pro Woche 90 Stimuli für jeden Muskel	30 starke Kontraktionen pro Minute -			alle Minuten Pause!	Volumenverlust geringer
57 Echternach	tägl. 6-8 Stunden	gerade ertragene Kontraktion	galvan. Rechtecksimp. 20 - 80 V		(Einzelfall)	Muskelerhaltung
70 Kaeser	2-3x tägl. 30 Sek. alle 2-3 Tage	kräftige Kontr.	galvan. Strom		(kein farad. Strom! mögl.-w. Vordehnung)	Atrophierate ↓
66 Sunderland	2x tägl. 20-30 Min., kein Tag Pause	starke Kontr.	galvan. Strom		(kein farad. Strom! Pausen-Ermüdungsrateverzögerung)	Atrophieverzögerung
60 Pio, Kunze e.a. wissenschaftl. Beirat ...		isometr. Kontr.	nur Exponentialströme	100 ms		mögl. Atrophieverzögerung

Tabelle 2 (Fortsetzung)

Autor	Häufigkeit der Anwendung	Kontraktionsart	Stromart	Frequenz/ Dauer	zusätzliche An- wendungen, Besonderheiten	Auswirkung
62) Taverner	3x tägl. 30 Stimuli	Minimalkontr.	galvan. Strom unterbrochen	100 ms	Infrarotbestrahl. vor Behandlung Pausen einhalten	nicht schädlich
58) Doupe	15-30 Stimuli 5-6x wöchentl.	starke Kontr.	unterbr. Gleichstrom		Massage	kein Nutzen
55) Mielke	2x tägl. 15 Kontraktionen		faradischer Strom		bei Hypertonus 5x tägl. Massage	hilfreich
99) Mucha e.a.			stabile Galvanisation Exponentialstrom	100-400ms	Krankengymnastik stabile Galvan. Exponentialstr. }	kein Nutzen
59) Liß, Lewey	täglich 10 Minuten		Interferenzstrom	8-10 Hz		Atrophierate ↓ → nicht schädlich

4. Tierexperimentelle Ergebnisse =====

4.1. Latenzperiode (Denervationszeit bis zur Elektrotherapie)

4.1.1. Sofortiger Beginn (bis 1 Tag postoperativ)

4.1.1.1. Positive Ergebnisse:

Einige Autoren konnten bei sofortigem Stimulationsbeginn postoperativ (bis 24 Stunden postoperativ) positive Ergebnisse verzeichnen (siehe Tabelle 3/1). GIRLANDA (82) entdeckte dabei, daß die Atrophierate nur bei den 2-b-Fasern (schnelle Muskeln) gesenkt werden konnte, bei den langsamen Typ-1-Fasern jedoch erhöht. Wie aus der Tabelle zu ersehen ist, können die Arbeiten untereinander schlecht verglichen werden, da sie sich bezüglich Stromart, Elektrodenart, Permanenz der Stimulation und Tier-species unterscheiden.

4.1.1.2. Indifferente bis negative Ergebnisse:

Es muß erwähnt werden, daß die Arbeiten nicht unter dem Terminus der verzögerten, bzw. geringen Latenzperiode postoperativ entstanden sind. Vielmehr wurden die Arbeiten herausgesucht, bei denen die Latenzperiode wie in diesem Falle kurz war, die übrigen Angaben wurden nur aus Übersichtsgründen erwähnt. Das soll heißen, daß die Auswirkungen nicht unbedingt von dem frühzeitigen Behandlungsbeginn abhängen. Dies wird nur in einem Fall erwähnt: CHOR (50) vertritt die Ansicht, daß ein verzögerter Therapiebeginn (bis zu 4 Wochen) weniger schädlich sei, als ein sofortiger Beginn. Die übrigen Ergebnisse sind aus Tabelle 3/2 zu entnehmen.

4.1.2. Verzögerter Beginn:

4.1.2.1. Positive Ergebnisse:

Aus der zur Verfügung stehenden Literatur konnten nur positive Ergebnisse bei Rattenversuchen gefunden werden. Die Ergebnisse sind in Tabelle 4/1 zusammengefaßt. Auch hier muß wieder auf die unterschiedlichen Arbeitsmethoden und Ausgangssituationen hingewiesen werden.

Kritik: Die zum Teil mangelhaften Angaben hinsichtlich der Methoden gehen aus den Lücken der Tabelle hervor.

4.1.2.2. Indifferente bis negative Ergebnisse:

Die Ergebnisse sind in Tabelle 4/2 zusammengefaßt. Besonders erwähnenswert erscheinen die Ergebnisse von JONES (103) : Wenn die denervationsbedingte ACh-Sensibilität ihren Höhepunkt überschritten hat (4-5 Tage nach Denervation),

Tabelle 3-1 innerhalb 24^h Beginn der E-Th. - positive Ergebnisse

Autor	Latenzperiode	Tierart	Stromart, Frequenz etc.	Dauer, Einzelauswertung etc.	Kontraktionsart	Auswirkung
30 Drachmann e. a.	post-op.	Ratten	galvan. Strom 0,25 - 0,3 ms	permanent	isotonisch	keine Atrophie od. Fibrose
6 Wehrmacher e. a.	1 Tag post-op.	Ratten		bis 180 sec., tägl. bis jeden 2. Tag	Maximalkontr.	Atrophieverzögerung
9 Lomo e. a.	1 Tag post-op.	Ratten	bidirektionale Vierecksimpulse	chronische Stim.		Atrophieverzögerung, Ach-Sens. ↓
12 Sebill e. a.	post-op.	Ratten	Rechtecksimpulse, 50 Hz	30 Min pro Tag		Reinnervation ↑ mit kondition. Verletzung
15 Melichna e. a.	post-op.	Ratten	Wechselstrom, 60 Hz	chronisch 4x pro Minute-2 Min Paus.	isometrische Maximalkontr.	nützlich für histo-chem. u. kontraktile Muskeleigenschaften
89 Herbigson e. a.	post-op.	Ratten	Stromart ? 10 Hz, 4 mA	8 St. tägl. bis 30 Tage	?	Fibrillation ↓, Atrophierate ↓
93 Fischer	post-op.	Ratten	farad. + galvan.	60 Stim./Min. für 2-3 Min., 1 Min. Pause-12-20 Min.	starke Kontr.	Gewichtserhaltung, Erregbarkeitserhaltung
108 Kosmann e. a.	post-op.	Ratten	Stromart ? 25 Hz, 1,5-2 mA	40 Stim. pro Min. 2x5 Min. tägl.	?	Gewicht ↑
82 Girlanda e. a.	post-op.	Kaninchen	Vierecksimpulse < 10 mA 40/Min., 400 msec.	2x5 Min. tägl.	starke isometr. Kontraktion	bei Iib-Fasern Atrophierate ↓ bei langsamen schädlich
23 Gutmann e. a.	post-op.	Kaninchen	galvan. Strom, 4-6 mA	500-600 Kontr. pro Tag	starke Kontr.	Atrophierate ↑
36 Nemeth e. a.	1 Tag post-op.	Schweine	galvan. Strom, 10 Hz	8-9 Stunden 1 Stim/sec. - 2 sec. Pause	Minimalkontr.	Enzyme erhalten, Atrophie gebremst

Tabelle 3-2 innerhalb 24 Stunden E-Th.-Beginn - negative Ergebnisse

Autor	Latenzper.	Tierart	Stromart, Frequenz etc.	Dauer, Einzel- anwendung etc.	Kontraktionsart	Auswirkungen
③② Dech	24 St. post-op.	Kaninchen	Rechtecksimpulse, Dreiecksimpulse 0,1 ms, 500 ms	2x15 Min tägl.		nicht nützlich bzgl. Atrophie- verzögerung
④③ Ironton	post-op.	Mäuse	100 Hz, 20 mA	1 sec. alle 100 sec. chronisch	starke Kontr. (20 mA?)	schädlich bzgl. terminaler Nerven- aussprossung
①① Malander e. a.	1 Tag post-op.	Hunde	galvan. Strom, farad. Strom	2x5 Kontr. tägl.	Minimalkontr.	Gewichtsverlust gleichbleibend histolog.stim.M. besser
⑤① Chor e. a.	sofort u. bis 4 Wo.	Affen	galvan. Strom	10 Kontr. tägl.	starke Kontr.	schädlich für Muskelerholung (verzögerter Beginn besser)
⑧② Girlanda	post-op.	Kaninchen	Vierecksimpulse, 400 ms	40 Stim./min. 2x4 Min.	starke Kontr.	langsame Fasern (Typ 1): Atrophieverzögerung

Tabelle 4-1 verzögerte Latenzperiode - positive Ergebnisse

Autor	Latenzper.	Tierart	Stromart, Frequenz etc.	Dauer, Einzel- anwendung etc.	Kontraktionsart	Auswirkung
⑨ Lømo	bis 5 Tage	Ratten	bidirektionale Vierecksimpulse	chronisch		Atrophierate ↓, ACh-Sens. ↓
② Westgaard	5 Tage post-op.	Ratten	bidirektionale Vierecksimpulse 10 Hz, 2-2,5 ms	(chronisch ?) für 8-12 sec. Pause		Atrophierate ↓
④ Lømo	5-14 Tage post-op.	Ratten	Vierecksimpulse mit 10 sec.- Polaritätswechsel	(chronisch ?)		ACh-Sens. ↓
⑬ Lømo	2 Tage post-op.	Ratten	100 Hz	chronisch alle 100 sec. 100 Stim.		ACh-Sens. ↓ Reinnervation ↑
⑩ Pachter	4 Tage post-op.	Ratten	10 Hz, bis 4 mA	1 Stunde tägl. 10 sec. Stim → 10 sec. Pause	Minimalkontr.	Verringerung der Atrophie in Typ I u. Typ II! I < II!

Tabelle 4-2 verzögerte Latenzperiode (bis Therapiebeginn) indifferent-negative Ergebnisse

Autor	Latenzper.	Tierart	Stromart, Frequenz etc.	Dauer, Einzel- anwendung etc.	Kontraktionsart	Auswirkungen
⑤① Chor e. a.	bis 4 Wo.	Affen	galvan. Strom	tägl. 10 Stim.	starke Kontr.	mehr Atrophie am behandelten M. bessere Ergebnisse nach 4 Wo. Latenz- zeit
④⑧ Pollock	2 Wochen	Kaninchen Katze Ratte	bidirekt. Vierecksimpulse	500-600 Kontr. täglich	Maximalkontr.	Unterschiede bei Tierarten keine Signifikanz zw. beh. u. unbehandelt
③① Hartmann e. a.	2-4 Tage post-op.	Kaninchen	galvan. Strom 30-63 V 0,1 Amp. < 100 mA	?	Maximalkontr.	keine schnellere Reinnervation
①① Jones	2-7 Tage post-op.	Ratten	40 Hz, 500 msec.	1-2 St. tägl. alle 90 sec.		Nach.-bestimmtem Zeitraum (7 Tage) kaum e-Th.ACh-Sens. nicht mehr beeinflusst
① Schmirigk	4 Tage post-op.	Ratten	5-8 V, 4-6 5 Hz	3x2 Minuten	Supramaximal	Verzögerung der Regeneration des Muskels

könne die Elektrotherapie diese Erscheinung nicht mehr beeinflussen. Interessanterweise wurden bei fast allen diesen Versuchen maximale bis supramaximale Stimulationen angewandt. Die zusätzliche Zeitdauer von 1-2 Stunden Stimulation täglich, bzw. 5-600 Kontraktionen täglich mögen eine Überlastung der entsprechenden Muskelgruppen hervorgerufen haben.

FISCHER (93) machte einige Versuche mit sofortigem, bzw. verzögertem Therapiebeginn. Dabei erzielte er die besten Ergebnisse bei sofortigem postoperativen Therapiebeginn.

Kritik: Rattenmuskeln benötigten wenigstens zehnminütige Pausen zwischen den einzelnen Stimulationen (7).

4.2. Atrophie: Elektrophysiologische, histochemische, histologische und morphologische Veränderungen durch:

Bemerkung: Die Aufstellung der nun folgenden Daten erfolgt ohne Berücksichtigung der Stromart, bzw. täglichen Anwendungsdauer. Würde man alle Parameter der einzelnen Arbeiten berücksichtigen, so ergäben sich schier unendliche Kombinationsmöglichkeiten, die im Endeffekt wegen der unterschiedlichen Arbeitsweisen und Ausgangspositionen doch nicht zu vergleichen wären. Somit erfolgte eine Zusammenstellung in Tabellen. Eine genaue Erläuterung der einzelnen Arbeiten mit deren Gesamtergebnissen erfolgt unter dem Kapitel 4.2.4. Stromarten und -formen.

4.2.1. Maximale bis supramaximale Kontraktionen (Schmerzschwelle)

4.2.1.1. Positive Ergebnisse:

Wie aus den beiden Tabellen ersichtlich, überwiegen als Versuchstiere die Ratten. Obwohl zum Teil chronisch stimuliert wurde, trotzdem der Rattenmuskel große Erholungspausen benötigt, wurden bei dieser Behandlungsmethode erstaunlicherweise positive und negative Auswirkungen verzeichnet. Falsch-positive Ergebnisse können jedoch darauf zurückgeführt werden, daß bei Gewichtsuntersuchungen der entsprechenden Muskeln der Zeitabstand zwischen Stimulation und dem Wiegen zu kurz war. FISCHER (93) weist darauf hin, daß diese Untersuchungen erst nach 24 - 32 Stunden durchzuführen seien, da vorher der Muskel noch geschwollen sei. Besonders bei Maximalkontraktionen kann der Muskel, wie schon früher erwähnt, schnell überlastet werden, sich entzünden und oedematös werden. Falsch negative Ergebnisse können ebenfalls auf dieser chronischen Muskelüberlastung basieren, wenn eine entsprechende Abschwelzeit eingehalten wurde.

Tabelle 5-1 pos. Maximal-supramaximale Kontr. (erst positive E. dann negative E.)

Autor	Tierart	Stromart-Form	tägl. Dauer, Einzelanw.	Auswirkungen
13 Lomo e.a.	Ratten	100 Hz, 20-25 mA	alle 100 sec. -100 Stim. chronisch	Reinnervation begünstigt
5 Stillwell	Ratten	Vierecksimpulse 8/sec.	innerhalb 1 Stunde 4x1 Min e 4x1 Min/Tag	Arbeitsleistung ↑, Gewicht nicht erhalten
7 Kosmann e.a.	Ratten	Wechselstrom 25 Hz	30 sec. bis 10 Min. tägl. 40 Kontr./Min.	Atrophieverzög., kurze Stim.-Period. ebenso wirkungsvoll wie lange
10 Wakim	Ratten	Vierecksimpulse, 1 msec. 16/sec.	16/sec. versch. Anwendungen dauer	Atrophierate ↓, Arbeitsleistung ↑
11 Thomson	Ratten	?	1xtägl. 30 sec.	Gewichtsverlust ↑
8 Kosmann e.a.	Ratten	Induktionsstrom unterbr. Gleichstr.	verschieden	Atrophierate ↓, Krafterhaltung ↑
20 Jansen e.a.	Ratten	10 Hz	?	ACh-Sens. ↓ Trendinnervat. herabges.
61 Grodus e.a.	Ratten	Wechselstrom 25 Hz u. langs. Wechsels.	10 - 15 Min. tägl.	Atrophierate ↓, langsamer WS schlechtere Erfolge
24 Gutmann e.a.	Kaninchen	galvan. Strom, 4-6 mA	verschiedene Zeiten	Atrophierate ↓, schwache Kontr. ineffektiv
6 Wehrmacher e.a.	Ratten	?	verschiedene Zeiten	Atrophierate ↓ schwache Kontr. ineffektiv
15 Melichna e.a.	Ratten	Wechselstrom, 60 Hz 300 ms	chronisch 4xpro Min. - 2 Minuten Pause	Atrophierate ↓
63 E.Fischer	Ratten	farad. u. galvan.	12-20 Min.: 2-3 Min. 60 Kontraktionen	Erregbarkeit gut, Gewicht ↑
23 Gutmann	Kaninchen	galvan.Str. 4-6mA	500-600 Kontr. pro Tag	Atrophierate ↓, Kontraktilität erhalten

Tabelle 5-2 negative Ergebnisse Maximale-Supramaximale Stim.

Autor	Tierart	Stromart-Form	Dauer, Einzel- anwendung täglich	Auswirkungen
① Schimrigk e.a.	Ratten	5-8 Volt, 4-6 A, 5 Hz	3x2 Min. tägl.	Atrophierate ↑, verzögerte Regeneration
①⑤ Hines e.a.	Ratten	Wechselstrom	chronisch 120 Stunden	keine Beeinflussung auf Atrophierate
②② Blümke e.a.	Kaninchen	Kowarschik-Reiz- strom = Querdur- strömung	8 St. tägl. alle 5 sec.	schädlich bezgl. Nervenaussprossung
②② Girlanda e.a.	Kaninchen	Vierecksimpulse 400 ms	40/min., 2x5 Minuten	Atrophierate nur bei IIb-Fasern (schnelle) gesenkt bei I-Fasern Verschlechterung
④③ Ironton e.a.	Mäuse	100 Hz, 20 mA	chronisch	schädlich bezgl. terminaler Nervenaussprossung
③① Hartmann e.a.	Kaninchen	galvan. Strom 0,1 Amp., 30-65 V	täglich ?	E-Th. hat keinen leistungsfördernden Effekt
⑤⑨ Chor e.a.	Affen	galvan. Strom	10 starke Kontr. tägl.	schädlich für Muskelerholung mehr Atrophie am E-therapierten Muskel
④⑧ Pollock e.a.	Katze Ratte Kaninchen	bidirektionale Vierecksimpulse	täglich 20 Minuten	keine Signifikanz bei Katzen, nur bei Rattenmuskel höheres Gewicht

GUTMANN e.a. (24) und WEHRMACHER e.a. (6) fordern starke Kontraktionen, da schwache angeblich keine Wirkung zeigten.

4.2.1.2. Negative Ergebnisse :

(siehe Tabelle 5/2) Eine erhöhte Atrophierate beobachtete SCHIMRIGK (1) bei täglich nur dreimaliger kurzer Stimulation, ebenso CHOR (50) bei nur 10 starken Kontraktionen täglich. Eine Verhinderung der Nervenausssprossung wurde bei BLÜMKE (22) und IRONTON (43) beschrieben. Kritisch muß man hierbei die langen Stimulationszeiten von mehreren Stunden betrachten.

4.2.2. Minimale bis submaximale Kontraktionen (unter der Schmerzschwelle) positive und negative Ergebnisse wurden in Tabelle 6 zusammengefaßt. Da auch hier unterschiedlich lange Zeiten (kurze bis chronische Stimulation) angewandt wurden, scheint hier die Muskelermüdung mit allen negativen Folgen keine so große Rolle zu spielen. PACHTER (100) findet dabei eine höhere Atrophiequote bei Typ- 2- Muskeln als bei Typ- 1- Muskeln. Im Gegensatz hierzu beschreibt GIRLANDA (82) (siehe Tabelle 5/2) eine verminderte Atrophierate bei Typ-2 b-Fasern, wobei er eine Verschlechterung bei Typ-1-Fasern beobachtete. Einen Rückschluß aus dieser Gegenüberstellung ziehen, scheitert natürlich wieder an den verschiedenen Anwendungsweisen, bzw.- zeiten.

4.2.3. Kontraktionsarten: Isometrische - Isotonische

Die Kontraktionsart wurde von den meisten Autoren stiefmütterlich behandelt. Es bestehen auch unterschiedliche Auffassungen hinsichtlich der Wirksamkeit: THOMSON (11) verglich im Versuch die isotonische mit der isometrischen Kontraktion. Bei täglich einmaliger 30-sekündiger Maximalstimulation mit Nadelelektroden konnte er mit isometrischen Kontraktionen bessere Ergebnisse verbuchen als mit isotonischen. Bei isometrischer Behandlung denervierter Rattenmuskeln verzeichnete er eine Gewichtsabnahme von 34,4 % innerhalb von 14 Tagen, wohingegen bei isotonischer Behandlung ein Gewichtsverlust von 44,4 % anstand. ECCLES (40) hingegen sprach der isometrischen Kontraktionsart weniger Erfolg zu als der isotonischen. Zudem entdeckte er, daß bei Flexoren generell ein besseres Ergebnis zu erwarten wäre als bei Extensoren. Da die Ergebnisse an zentraldenervierten Katzen (Rückenmark) zustande kamen, kann ein Vergleich mit peripherdenervierten Muskeln nicht vorgenommen werden. MELICHNA (15) konnte mit chronisch angewendeten isometrischen Maximalkontraktionen an Ratten eine Reduktion des Gewichtsverlustes nachweisen, allerdings nur bei sofortigem posttraumatischem Stimulationsbeginn.

Tabelle 6 Minimalkontraktionen bis submaximale Kontraktionen

Autor	Tierart	Stromart/Frequenz	Dauer, Einzelanw.	Auswirkungen
100 Pachter e.a.	Ratten	10 Hz	10 sec. - 10 sec. Pause 1 St. tägl.	Atrophierate ↓, Typ I atrophiierte weniger als Typ II
25 Steinberger e.a.	Kaninchen	biphasische Vier- ecksimpulse 10-40/sec.	5 sec. - 15 Min. Pause	Trophikerhaltung
38 Sherman	Katzen	60 Hz Wechselstr.	tägl. 5 Minuten 3 sec. - 2 sec. Pause	Kontrakturverhinderung
39 Herbison e.a.	Ratten	10 Hz, 4 mA	8 Stunden täglich	Atrophierate ↓
108 Kosmann e.a.	Ratten	25 Hz, 1,5-2 mA	2x5 Minuten täglich 40 Kontr./Min.	Gewichtserhaltung
36 Nemeth	Schweine	galvan. Strom 10 Hz, 3-8 Volt	8-9 Stunden: 1 sec. - 2 sec. Pause	Atrophierate ↓, ACh-Sens. ↓ u. sonstige Denervations- erscheinungen
101 Molander e.a.	Hunde	galvan. + farad. Strom	2x tägl. 5 Kontr.	keine Signifikanz zwischen stim. u. nichtstim. Muskeln Reinnervation nicht gefördert

STEINBERGER (25) konnte mit unterschwelligen isometrischen Kontraktionen am Kaninchenmuskel günstige Auswirkungen in der Trophikerhaltung nachweisen. Mit isotonischen Maximalkontraktionen über 10 bis 15 Minuten täglich meinte Grodins (91) die Atrophierate im Rattenmuskel gesenkt zu haben. Starke isometrische Kontraktionen über 2x5 Minuten täglich hätten laut GIRLANDA (82) nur auf 2 b-Fasern (schnelle) einen atrophiesenkenden Effekt, wobei eine Atrophiesteigerung bei Typ-1-Fasern eingetreten wäre. Isometrische Kontraktionen über 8 Stunden täglich hätten laut NIX (27) keinen Einfluß auf die funktionelle Reinnervation oder die denervationsbedingte Atrophie gezeigt. Mit chronisch durchgeführten Supramaximalreizen über 120 Stunden und isotonischer Bewegung von denervierten Rattenmuskeln erreichte HINES (16) keinen nützlichen Effekt.

Kritik: Bei den hier durchgeführten Versuchen lag die Betonung der Thematik meistens nicht auf der Kontraktionsart, sondern vielmehr auf der Stimulationsart, bzw. deren Auswirkungen. Die schon mehrfach angesprochene Problematik des Vergleiches der Arbeiten untereinander findet auch hier wieder ihre Schwierigkeit in den unterschiedlichen Versuchsmethoden, Tierspecies, aber auch nozizeptiver Reizung von empfindlichen Muskeln (Erholungszeiten !) .

4.2.4. Stromarten und -formen:

4.2.4.1. Frequenz:

Die Frequenzabhängigkeit einzelner Muskeltypen wurde schon von mehreren Autoren angesprochen. PETTE und Mitarbeiter konnten 1972 (34, bzw. 1977 (46) nachweisen, daß sich die einzelnen Muskeltypen entsprechend einer Reizmusteränderung transformieren. Durch indirekte Reizung mit implantierten Elektroden am Nerven wurden aus sogenannten schnellen Muskeln langsame gemacht. Sämtliche histologischen, histochemischen und physiologischen Parameter wurden dabei transformiert. Daraus geht hervor, was für eine wichtige Rolle die Frequenzabstimmung auf die einzelnen Muskeltypen spielt. Zu allem Überfluß wurden die selben Ergebnisse von JONES (95) 1981 nochmals erbracht. DRACHMANN und WITZKE (3) wiesen 1972 an denervierten Zwerchfellen von Ratten nach, daß man bei Nachahmung des ursprünglichen Reizmusters des Nervus phrenicus (direkte Stimulation) die Atrophierate, Fibrosierung und ACh-Sensibilität verhindern kann. Aufbauend auf die Ergebnisse von PETTE e.a. erzielte NEMETH (36) 1982 ähnliche Ergebnisse an Schweinen.

Bei Angleichen der Reizfrequenz an den Muskel konnte ein Verlust der oxydativen Enzyme und die mit der Denervation einhergehende Atrophie weitgehend verhindert werden. Ca. 69 % der denervierten Fasern behielten normale oder Übernormgröße. Eine Frequenzabhängigkeit der entsprechenden Muskeltypen konnte MARTIN (26) 1980 in seiner Habilitationsschrift nachweisen. GRODINS und OSBORNE (91 , 92) kamen bereits 1944 zu folgenden Ergebnissen:

1. Die Stimulation denervierter Skelettmuskeln mit Wechselstrom von 25 Hz brachte eine deutliche Verminderung der Atrophierate.
2. Mit langsamerem Wechselstrom wurde kein so nützlicher Effekt festgestellt.
3. Für " Schwellwertstimulation " mit Wechselstrom an denervierten Muskeln besteht ein Optimum bei einer Frequenz von 1-3 Hz.
4. Bei 25 Hz (10-15 mA) ist die Spannungstendenz viel größer als im Vergleich mit einer langsamen Frequenz.

SMITH und STEINBERGER (87) zeigten auf, daß die Muskelspannung durch Variation der Impulsfrequenz beeinflussbar sei. Bei konstanter Impulsdauer und konstanter Impulsspitzenstärke auf submaximalem Niveau, (wiederholte Rechtecksimpulse) wurde ein Muskelspannungsverlust mit sinkender Frequenz unter 50 Hz festgestellt, über 50 Hz stieg jedoch die Spannung leicht mit der Frequenz an. Da über 50 Hz nur mehr eine geringe Spannungssteigerung erreicht wurde, hielt man bei einer Impulsdauer von 10 ms eine Stimulationsfrequenz von 50 Hz für den Kaninchenmuskel für ausreichend. Laut LOMO (4) fiel die ACh-Hypersensitivität mit dem Anheben der Stärke und der Frequenz der Stimulation. Den Einfluß der Stimulusfrequenz auf den Membranwiderstand und die Membrankapazität des denervierten Muskels untersuchte WESTGAARD (2). Bei Frequenzbereichen zwischen 5 Hz und 250 Hz konnten folgende Ergebnisse erbracht werden:

1. Die Parameterwerte waren bei niederen Frequenzen konstant bis zu einer variablen Übergangsfrequenz und nahmen rapide bei höheren Frequenzen ab (250 Hz)
2. Auf die Denervation nahm der Niederfrequenzwert des spezifischen Membranwiderstandes zu 2291 Ohm/cm^2 nach 19 Tagen Denervation, 766 Ohm/cm^2 bei innervierten Fasern), die spezifische Membran-

kapazität nahm ab (bis zu $3,6 \mu F / cm^2$) und die Übergangsfrequenz spielte sich in niedrigeren Frequenzbereichen ein....

Eine genaue Einteilung der Frequenzbereiche und ihrer Wirkungsweisen wurde von KOSMANN und OSBORNE (8) erstellt :

Einfluß auf die Spannungsstärke bei :

1. Wenn supramaximale Stimuli angewandt werden:

25 Hz = 100 Hz = Induktionsstrom $>$ 10 Hz $>$ 250 Hz $>$ 5 Hz $>$ 500 Hz
 $>$ unterbrochener Gleichstrom $>$ als ansteigender Gleichstrom mit wechselnder Polarität.

2. Wenn Schmerzschwellenstärken angewandt werden :

25 Hz $>$ 100 Hz $>$ 5 Hz $>$ unterbrochener Gleichstrom $>$ 250 Hz
 ansteigender Gleichstrom mit unterschiedlicher Polarität.

3. Einteilung der Auswirkungen verschiedener Ströme in der Atrophieverzögerung bei Supramaximalstimulation :

25 Hz $>$ Induktionsstrom $>$ unterbrochener Gleichstrom $>$ ansteigender Gleichstrom mit wechselnder Polarität.

4. Wenn diese Ströme mit geringerer Intensität angewandt werden, bleibt die Einteilung der Auswirkungen gleich, jedoch scheint die 25 Hz-Frequenz die bessere zu sein.

4.2.4.2. Niederfrequenter Reizstrom (unidirektional, Schwellstrom, Dreiecks- und Vierecksimpulse, Reizstrom nach KOWARSCHIK).

Bemerkung: Wie aus der Chemie und Physik bekannt, verursacht Gleichstrom Elektrolyse. Diesem Vorgang entsprechend bilden sich somit Kationen und Anionen, die sich unter den entsprechenden Elektroden im Gewebe ansammeln. Bei länger fließendem Strom können sich die Konzentrationen dieser Stoffe soweit erhöhen, daß die Pufferwirkung des Gewebes nicht mehr ausreicht, diese zu neutralisieren. Entzündungserscheinungen sind die Folge davon. In diesem Kapitel werden demnach nur Arbeiten zusammengefaßt, bei denen eindeutig unidirektional fließender Strom benutzt wurde.

4.2.4.2.1. Positive Ergebnisse:

GUTMANN und GUTTMANN (23): Elektrotherapie (Kaninchen, Hautelektroden, galvanischer Strom, starke Kontraktionen, 15-20 Minuten täglich entsprechend

5 - 600 Kontraktionen) verhinderte während der ersten zwei Wochen nach Denervation die Atrophie nicht. Danach jedoch konnten die Umfangsverluste der behandelten Gliedmaßen abgebremst werden. Die Autoren kamen daher zu folgender Auffassung: Galvanische Übungen an denervierten Kaninchenmuskeln verzögern und verhindern die Atrophie und beschleunigen den Wiederaufbau des Muskels zu seinem Originalzustand (Volumen) nach Reinnervation. Behandelte Muskeln zeigen außerdem weniger Fibrosierung, größere Muskelfasern mit mehr Streifung als die unbehandelten. Zudem sei eine bessere Erregbarkeit und Kontraktilität auf direkte Stimulation, sowie stärkere Relaxation im Gegensatz zum unbehandelten Muskel erkennbar. Je oberflächlicher ein Muskel gelagert war, desto mehr Auswirkungen hatte die Behandlung.

DRACHMANN und WITZKE (3) : (Ratten, Diaphragmareizung, implantierte Elektroden, chronische Anwendung, galvanischer Strom, starke Kontraktionen, Nachahmung des Nervenreizmusters). Nach vier Tagen konnte die ACh-Empfindlichkeit als wesentlich geringer in den stimulierten Muskeln eingestuft werden, als in den denervierten Kontrollen. Die Muskelaktivität könnte somit für die Regulierung der ACh-Empfindlichkeit verantwortlich sein. Kein signifikanter Unterschied wurde jedoch bei den Muskelfaserdurchmessern zwischen stimulierten und nicht stimulierten Muskeln gefunden.

SEBILLE e.a. (12) : (Ratten, Hautelektroden, Rechtecksimpulse, 50 Hz, täglich 30 Minuten, zusätzliche Anwendung einer sogenannten " konditionierten Läsion "). Erklärung: Bei der sogenannten konditionierten Läsion wird Tage vor der eigentlichen Denervation (Durchschneidung des Nerven) distal der späteren eigentlichen Läsion eine Nervenquetschung durchgeführt (siehe unter " Reinnervation "). Laut Aussage der Autoren erziele man durch die angewandte Elektrostimulation eine wichtige Beschleunigung der Genesungsrate, wenn eine vorhergehende konditionierte Verletzung am distalen Ende des Nerven durchgeführt wurde.

FISCHER (93) : (Ratten, galvanischer Strom, täglich 12-20 Minuten, 60 Kontraktionen pro Minute, dazwischen 2-3 Minuten Pause, starke Kontraktionen). Die oben genannte Stimulation führte zu einer merklichen Erhaltung der Erregbarkeit und dem relativen Trockengewicht des Muskels. Die besten Ergebnisse wurden jedoch bei sofortigem Therapiebeginn nach Denervation verzeichnet. Die Untersuchung der stimulierten Muskeln sollte erst nach 24 - 32 Stunden durchgeführt werden, da diese von der Behandlung her noch angeschwollen

seien.

GUTMANN und GUTTMANN (24): (Kaninchen, Hautelektroden, galvanischer Strom, starke Kontraktionen, täglich 20 Minuten). Die Autoren kommen zu folgenden Ergebnissen:

1. Der Effekt der Elektrotherapie war erst bei täglicher Anwendung gut.
2. Nur starke Kontraktionen brachten gute Ergebnisse.
3. Je eher man mit der Behandlung begann, desto größer war die Erfolgsquote.
4. Gute Erfolge stellten sich bei wenigstens 15-20-minütigem täglichem Training ein, bei täglich 30minütigem Training konnte keine Signifikanz mehr festgestellt werden.
5. Bei längerer täglicher Anwendungsdauer konnte keine Zerstörung von denerviertem Muskelgewebe festgestellt werden.
6. Die motorische Genesungsrate war in den behandelten Muskeln höher als in den unbehandelten.

Die Autoren fordern daher, die Elektrotherapie so lange fortzusetzen, bis eine befriedigende motorische Genesung eingetreten sei.

STILLWELL e.a. (5): (Gleichstrom - Vierecksimpulse, Ratten, Maximalkontraktionen ohne Schmerzschwelle) Das Muskelgewicht konnte sowohl in stimulierten als auch nicht stimulierten Muskelgruppen nicht gut erhalten werden, wohingegen die Arbeitsleistung und die Erhaltung dieser in der Gruppe, die täglich viermal 1 Minute innerhalb 1 Stunde therapiert wurde, am besten war.

WAKIM und KRUSEN (10) : (Ratten, Vierecksimpulse, Maximalkontraktionen, Hautelektroden) Nach 25 - 30 Tagen konnte an den behandelten Muskeln eine Einschränkung der Atrophierate beobachtet werden, eine Verhinderung der Atrophie konnte jedoch nicht erreicht werden. Täglich 30minütige Stimulation hatte bereits einen leichten positiven Effekt, täglich 2x 30 Minuten zeigte bereits bessere Wirkungsweise und 5-minütige Stimulation alle halbe Stunden für 8 Stunden täglich zeigte nicht mehr Effizienz.

NEMETH (36) : (Schweine, Minimalkontraktionen, Gleichstrom, Nervenfrequenz nachgeahmt - 10 Hz, chronische Stimulation 8-9 Stunden) Ergebnisse siehe : unter " Frequenz " - Kapitel 4.2.4.1.

LOMO und WESTGAARD (4) : (Ratten, implantierte Elektroden, Vierecksimpulse mit Polaritätswechsel alle 10 Sekunden, chronische Stimulation) Die Muskelstimulationen wurden 5 Tage nach Denervation begonnen, wenn die ACh-Empfindlichkeit voll ausgeprägt war. Die meisten Stimulationsprozeduren reduzierten die ACh-Sensibilität zu normalen, bzw. unter normale Werte innerhalb von 5 bis 21 Tagen, und dieses Niveau konnte während verlängerter Stimulation erhalten bleiben. Die Rate, bei der die ACh-Hypersensitivität verschwand, stieg mit dem Anheben der Stärke und der Frequenz der Stimulation (s. auch unter " Frequenz "). So erreichten 100 Stimuli alle fünfzehn Stunden über drei Wochen angewandt die zehnfache Reduktion der Empfindlichkeit. Hingegen zeigte sich, daß die Stimulation wenig oder keinen Einfluß auf die ACh-Sensibilität der Endplatte hatte. Das Ruhemembranpotential, das dem direkten Wert der ACh-Sensibilität entspricht, wurde somit durch die Elektrotherapie im Normbereich gehalten. Nebenbei wird von den Autoren bemerkt, daß das Bindegewebe bei einigen Ratten entlang oder an einem Ende der Muskelmembran eher entzündet war, wodurch eine höhere ACh-Sensibilität in diesem Bereich bedingt war.

KOSMAN und OSBORNE (8) : (Ratten, unterbrochener Gleichstrom mit verschiedenen Frequenzen, Wechselstrom, zweimal täglich Stimulation) Die Ergebnisse wurden bereits unter dem Kapitel " Frequenz " berichtet, genauere Angaben bitte dort einsehen. Ein atrophieverzögernder und krafterhaltender Effekt wird der Elektrotherapie zugeschrieben.

4.2.4.2.2. Indifferente bis negative Ergebnisse:

NIX und SEIDENFADEN (27) : (Kaninchen, implantierte Elektroden, Vierecksimpulse 10 Hz, chronische Stimulation über 8 Stunden täglich) Die Autoren schließen ihre Ergebnisse mit dem Satz ab, daß die Elektrostimulation weder einen Einfluß auf die funktionelle Reinnervation, noch auf die denervationsbedingte Atrophie hätte.

HERBISON e.a. (21) : (Ratten, Hautelektroden, galvanische-faradische Stimulation, zweimal täglich 1 Minute mit 1 Stunde Pause dazwischen) Nach neunwöchentlicher Stimulation konnte kein Unterschied zwischen behandelten und unbehandelten Muskeln hinsichtlich Gewicht und "Hauptfaserdurchmesser" * festgestellt werden.

DECH (32) : (4 Kaninchen, Vierecksimpulse-Dreiecksimpulse, täglich zweimal 15 Minuten) Sämtliche Kaninchen zeigten nach spätestens 8 Tagen spontanes

* (es ist wohl der gemeinsame Durchschnitt gemeint)

Fibrillieren als Zeichen der Denervation mit Endplattendegeneration. Ein verzögertes Auftreten von Fibrillationen bei den elektrostimulierten Muskeln war nicht erkennbar. Bei einem Tier mit gequetschtem Nerven konnten nach 37 Tagen postoperativ zusätzlich polyphasische Aktionspotentiale verzeichnet werden, was auf eine beginnende Reinnervation hinwies. Die Erregbarkeit war sowohl bei behandelten, wie auch unbehandelten Muskeln gleich. Die Kaninchen verloren trotz guter Pflege ständig an Gewicht, wie dies fast immer nach Nervenläsionen auftritt (Gewichtsverlust bis zu einem Drittel des Ausgangsgewichtes). Makroskopisch war kein Unterschied zwischen gereizten und ungereizten Muskeln festzustellen, auch im Gewichts-Kontroll-Vergleich zeigten sich keine signifikanten Unterschiede. Histologisch gesehen zeigten elektrisch stimulierte und nicht stimulierte denervierte Muskeln alle charakteristischen Eigenschaften der neurogenen Atrophie. Insgesamt hätten sich die Versuchstiere in einem schlechten Allgemeinzustand befunden.

MOLANDER e.a. (101): (Hunde, galvanischer-faradischer Strom, zweimal täglich 5 Minimalkontraktionen, zusätzlich Infrarotbestrahlung) In keinem der Fälle konnte faradischer Strom eine Kontraktion auslösen. Es zeigte sich keine meßbare Verzögerung des Gewichtsverlustes in behandelten und unbehandelten Muskeln, jedoch in 6 von 9 Fällen (behandelt) war histologisch eine geringfügig kleinere Atrophierate sichtbar. Der unbehandelte Muskel zeigte eine bessere Ansprechbarkeit auf galvanische Reize, als der behandelte, jedoch hatten beide (behandelt und unbehandelt) einen Verlust der Ansprechbarkeit während des Experiments zu verzeichnen. Ebenso erbrachte die histologische Untersuchung des Nerven keine Unterschiede zwischen stimulierter Gruppe und Kontrollgruppe. Diese Ergebnisse zeigten keinen klaren Vorteil der Elektrotherapie bezüglich der Genesung gelähmter Muskeln.

CHOR e.a. (50): (Affen, galvanischer Strom, Hautelektroden, 10 starke Kontraktionen täglich, zusätzlich Massage und passive Bewegung, Wärmeanwendung) Da sich am behandelten Muskel eine größere Atrophierate darstellte als am unbehandelten, kamen die Autoren zu folgendem Ergebnis:

1. Atrophie und Degeneration denervierter Muskeln schreitet trotz Elektrotherapie, passiver Bewegung und Massage innerhalb von 6 Wochen fort.

2. Regeneration und Wiederherstellung des Skelettmuskels rückt mit der Reinnervation ein. Wenn noch keine exzessive Fibrose eingetreten ist, kann man eine gute Genesung des Muskels erwarten.
3. Die Regeneration des peripheren Nerven schreitet ziemlich gleichmäßig fort. Nach drei Monaten erreichen ca. 60 % der Fasern die Muskelfaser, nach sechs Monaten ca. 80 %.
4. Die Regeneration des peripheren Nerven wird nicht durch physikalische Therapie beeinflusst.
5. Es besteht kein direkter Zusammenhang zwischen der Anzahl der regenerierten Nervenfasern und der Muskelregeneration (Zahl der Muskelfasern). Es scheint so zu sein, daß eine minimale Anzahl von Nervenfasern genügt, die Regeneration zu erreichen.
6. Für die Muskelerholung ist die physikalische Therapie von Bedeutung. Massage und passive Bewegung scheinen am wirksamsten zu sein. Eine Pause von vier Wochen nach Nervendurchtrennung scheint bessere Ergebnisse zu bringen, als wenn man sofort nach Operation therapiert. Während der Pausen sollte der Muskel in Neutralstellung gehalten werden.

Es werden zudem ergänzende Studien gefordert.

HARTMANN und BLATZ (31): (Kaninchen, Hautelektroden, galvanischer Strom, Maximalkontraktion) Weder Massage noch galvanische Stimulation hatte einen heilungsfördernden Einfluß. Gequetschte Nerven erreichten nach einigen Wochen wieder motorische Funktion.

BLÜMKE und KNOCHKE (22): (Kaninchen, implantierte Elektroden, Reizstrom nach KOWARSCHIK = Muskelquerdurchströmung, Maximalkontraktionen, 8 Stunden chronisch) Bereits nach 18 Tagen fiel eine Regenerationshemmung am gereizten Nervenstumpf im Vergleich zum ungereizten auf. Ebenso die Anzahl der regenerierenden Fasern war geringer. Als Folge stellte sich heraus, daß die Elektrophysiotherapie nicht nur eine Verzögerung des Längenwachstums und eine zahlenmäßige Abnahme der Fasersprosse mit sich brachte, sondern ebenso eine Zunahme gewisser degenerativer Veränderungen am Faserendkolben. Zudem wird vor klinischer Anwendung gewarnt.

HERBISON e.a. (17): (Ratte, Vierecksimpulse, zweimal täglich 1 Minute,

Hautelektroden, isometrische, sowie isotonische Kontraktion) An den behandelten Ratten stellte sich ein signifikant größerer Körpergewichtsverlust ein als bei den nicht behandelten. Bei sämtlichen untersuchten Gruppen mit Nervendurchtrennung (Nervus ischiadicus) wurden Stressulcera und Gewichtsverlust beobachtet. Es wird bemerkt, daß Ulcera auch in anderen Experimenten beschrieben seien, bei der Auswertung des Gewichtsverlustes jedoch nicht berücksichtigt worden wären. Man nimmt an, daß die Elektrophotherapie die Atrophie in den Muskeln möglicherweise vermindert hätte, jedoch wird eingeräumt, daß durch das sogenannte Stressfasten der betroffenen Tiere die Ergebnisse maskiert worden wären. Bei bestimmten Tiergruppen wurde an den denervierten stimulierten Muskeln ein höheres Gewicht gemessen, als bei den nicht stimulierten, denervierten Muskeln.

4.2.4.3. Faradische und andere Stromarten (bidirektionale Rechtecksimpulse)

(zunächst bidirektionale Rechtecksimpulse von positiv bis negativ, sodann im selben Verlauf faradischer Strom)

SMITH und STEINBERGER (87): (Kaninchen, implantierter Draht mit mehrmaliger Durchwanderung des Muskels, bidirektionaler Rechtecksstrom, sinusförmiger Wechselstrom) In der Arbeit wurden die Wirkungsweisen der verschiedenen Stromformen verglichen. Man kam zu folgenden Ergebnissen:

A Einzelrechtecksimpulse:

1. Niedrige Eingangsenergie: Geringe Amplitudenanstiege erbrachten starke Muskelspannungswerte.
2. Hohe Eingangsenergie: Relativ geringe Spannungsanstiege.
3. Impulszeiten: Die Spannung stieg langsam mit der Impulsdauer, bis eine Grenze von 3-10 ms erreicht war. Über 10 ms waren die Spannungswerte gering.

B Dauerrechtecksimpulse:

Lag die Impulsfrequenz unter 50 pro Sekunde, fiel die Spannung relativ ab.

Bei Impulsfrequenzen über 50 pro Sekunde stieg die Spannung leicht mit der Frequenz an, jedoch war die Steigerung nur noch gering. Somit wurde eine Frequenz

von 50 Hz, bei einer Impulsdauer von 10 ms als Stimulationsfrequenz für den Kaninchenmuskel als ausreichend empfunden.

Sinuswellen:

Für die Sinuswellenstimulation wird etwa die zwei- bis dreifache Energie der Rechtecksimpulse benötigt.

LØMO und ROSENTHAL (9): (Ratten, implantierte Elektroden, direkte und indirekte Stimulation im Vergleich, bidirektionale Rechtecksimpulse, chronische Stimulation). Die Autoren wendeten neben Anästhetika oder Diphterietoxin direkt am Nerven angebracht auch die totale Denervation an. Bei Anästhetikaanwendung zeigten die Muskeln atrophieähnliche Erscheinungen, die denen der Denervation ähnlich waren. Die Nervenblockade schien jedoch wenig oder gar keinen Effekt auf die neuromuskuläre Übertragung zu haben, wenn unterhalb des Blockes stimuliert wurde. Normale spontane Miniaturendplattenpotentiale (MEPP) waren vorhanden. Die Nervenimpulsblockade verursachte an der gesamten Muskelmembran eine erhöhte Sensitivität für ACh, das iontophoretisch appliziert wurde. Ein Anstieg der Sensitivität im Musculus soleus konnte durch chronische Stimulation unterhalb der Nervenblockade verhindert werden. Hingegen hatte eine 5-12 Tage dauernde Tenotomie mit folgender Atrophie keinen Einfluß auf die ACh-Sensitivität des Muskels. Chronische, direkte Stimulation des denervierten Muskels konnte die übliche Denervationshypersensitivität verhindern, oder sogar zu normalen Werten bringen, ebenso konnte die Sensitivität der Endplattenregion auf normalem Niveau gehalten werden.

STEINBERGER, SMITH (25): (Kaninchen, implantierter Draht in drei Schichten angeordnet als Elektroden, bidirektionale Rechtecksimpulse, 5 Sekunden lang Stimulation - 15 Minuten Pause, täglich 3 Stunden). Aufgrund ihrer Forschungen kommen die Autoren zu dem Ergebnis, daß die Elektrotherapie eine Muskelatrophie nur verzögern könne, nicht jedoch verhindern. Der Muskel könne aber in gutem Zustand erhalten bleiben, ebenso die Kontraktionsstärke.

WESTGAARD (2): (Ratten, implantierte Elektroden, direkte Stimulation, bidirektionale Rechtecksimpulse, 10 Hz, 8 Sekunden Stimulation, 12 Sekun-

den Pause) Ergebnisse siehe unter "Frequenz".

POLLOCK und ARIEFF e.a. (48): (Katze, Ratten, Kaninchen, bidirektionale Rechtecksimpulse, verschiedenartige Anwendungsweise, täglich 20 Minuten)
Nach einer ausführlichen Literaturübersicht, die diese Versuchsreihe begründen sollte, kommen die Autoren zu folgenden Ergebnissen:

1. Bei der Katze konnte keine Signifikanz bei verschiedenen Behandlungsarten und -dauer bzw. behandelter und nicht behandelter Gruppe mit primärer Nervennaht gefunden werden.
2. Auch bei der Sekundärnaht (60 Tage nach Durchschneidung) ergab sich keine Signifikanz im Vergleich.
3. Ebenso ergab sich keine Signifikanz bei bilateraler Primärnaht des Nervus ischiadicus und einseitiger Behandlung.
4. Nach bilateraler Denervation von 30, 60, 90 und 120 Tagen wurde ein kleiner, aber signifikanter (statistisch) Gewichtsunterschied der elektrotherapierten Muskeln gefunden. Dieses höhere Gewicht wuchs nicht mit der Zeit an und kann durch den generalisierten Gewichtsschwund der Katzen erklärt werden.
5. Die Ergebnisse von GUTMANN und GUTTMANN (Atrophieverzögerung) am Kaninchen konnten an der Katze nicht erbracht werden.
6. Das Gewicht eines dervervierten Gastrocnemiuskomplexes der Ratte war nach Elektrotherapie auf der behandelten Seite größer als an der Unbehandelten.
7. Das Fehlen jeglicher statistischer Signifikanz zwischen dem Gewicht von behandelten und unbehandelten Muskeln der Katze und dem allgemeinen Gewichtsexzess behandelter Rattenmuskeln liegt wohl in der Tierart begründet.
8. Eine größere Anzahl von Kontrakturen oder anderen Schwierigkeiten ergaben sich beim normalen antagonistischen Gastrocnemius, wenn nach Nervennaht eine Elektrotherapie durchgeführt wurde. Die Ursache hierfür konnte nicht eruiert werden.
9. Bei der Katze stellten sich nach primärer Nervennaht und Elektrotherapie (nach 90 Tagen) in behandelten und unbehandelten Muskeln große histopathologische Unterschiede ein.

Wechselstrom:

KOSMAN und OSBORNE (8): (Ratten, verschiedene Anwendungsdauer, zweimal täglich) Die größte Zugspannung wurde bei Wechselströmen zwischen 25 und 100 Hz erreicht. Die übrigen Ergebnisse siehe unter "Frequenz".

KOSMAN und OSBORNE (7): (Ratten, Wechselstrom 25 Hz, verschiedene Anwendungsdauer) Durch die Elektrotherapie konnte generell eine Verzögerung der Atrophie eingeleitet werden. Eine genauere Darstellung der Ergebnisse erfolgt in Kapitel 4.2.6. "Anwendungsdauer".

SHERMAN (38): (Katzen, Wechselstrom 60 Hz, täglich 5 Minuten, 3 Sekunden Stimulation, 2 Sekunden Pause dazwischen) Es werden folgende Ergebnisse verzeichnet:

1. Kontrakturen entwickeln sich bei Katzen nicht in einer normalen Extremität, die 90 Tage lang nur immobilisiert wurde, jedoch entwickeln sie sich in denervierten Muskeln, die in verkürzter Position gehalten werden.
2. Nach primärer Nervennaht (Nervus ischiadicus) bei Katzen, folgen in 84,2 % der Fälle Kontrakturen in einem oder mehreren Muskeln unterhalb des Knies und nach verzögerter Naht in 100 % der Fälle nach 90 Tagen.
3. Kontrakturen sind weniger stark, weniger häufig und weniger beständig nach primärer Nervennaht als bei verzögerter Naht in unbehandelten Tieren. Bleibende Kontrakturen sind häufiger bei verzögerter, als bei primärer Naht.
4. Massage und passive Bewegung drücken definitiv die Häufigkeit und Stärke der Kontrakturen.
5. Zusätzliche Elektrotherapie zur Massage und passiven Bewegung verzögert die Kontrakturenerscheinungen über eine längere Periode nach primärer Nervennaht mehr als Massage und passive Bewegung alleine. Somit könnte die Elektrotherapie einen gewissen positiven Einfluß in der frühen postoperativen Periode haben.

Elektrotherapie begünstigt die Kontrakturentwicklung in den nicht gelähmten antagonistischen Muskeln der gelähmten Muskeln. Sie scheint jedoch die Lösung der Kontrakturen zu begünstigen, die nach verzögerter Nervennaht auftreten.

6. Kontrakturen kommen häufiger vor nach Durchschneidung und Naht des Nervus ischiadicus der Katze, wenn die Extremität immobilisiert wird, als wenn die Extremität frei beweglich ist.

MELICHNA und GUTMANN (15): (Ratten, implantierte Elektroden, direkte Stimulation, Wechselstrom 60 Hz, 4x pro Minute, dann 2 Minuten Pause, chronische Stimulation) Die Stimulations- und Immobilisationseffekte werden folgendermaßen beschrieben:

1. Chronische Stimulation des Musculus tibialis anterior an sechs Monate alten Ratten mit implantierten Elektroden über eine 3-Tageperiode resultiert in einer Abnahme des Gewichtsverlustes, einer Verkürzung der Kontraktionszeit, maximaler isometrischer Spannungsentwicklung und Erholungszeit. Dieser Effekt kann jedoch nur beobachtet werden, wenn die Stimulation sofort nach Denervation beginnt.
2. Immobilisation der hinteren denervierten Gliedmaßen (drei Monate alte Ratten) über 7-14 Tage resultierten in der Verlängerung der Kontraktionszeit des entlasteten (nicht gedehnten) Muskels, aber Verkürzung der Kontraktionszeit bei gedehntem Muskel. Die Fixation des Muskels über 7-14 Tage in welcher Position auch immer, führte zu keinen Änderungen der kontraktilen Eigenschaften.

Kritische Bemerkung: Die unter Punkt 2 aufgeführten Ergebnisse resultieren aus Versuchen mit unausgewachsenen Ratten (drei Monate). Ein Vergleich mit anderen Arbeiten, anderen Altersgruppen, anderen Tierarten oder gar der Vergleich mit dem Menschen ist damit ausgeschlossen.

GRODINS und OSBORNE (91, 92): (Hunde, Ratten, Wechselstrom 25 Hz, langsamer Wechselstrom, externe Elektroden) Bei einer Wechselstromfrequenz von 25 Hz konnten weiche, tetanische Kontraktionen ausgelöst werden, die eine deutliche Verminderung der Atrophierate mit sich führten. Mit langsamerem Wechselstrom wurde kein so nützlicher Effekt beobachtet.

HINES und KNOWLTON (16): (Ratten, Wechselstrom, Nadelelektroden, Supramaximalstimulation für 1 Sekunde, chronische Stimulation 120 Stunden) Nach dieser kurzen Stimulationsperiode, die unter ständiger Luminalanästhesie durchgeführt wurde, kam man zu folgendem Ergebnis:

1. Die Zuführung von ACh und die Erzeugung einer künstlichen Hypercalcämie (Parathormon) hatten keinen Einfluß auf die Atrophie.
2. Eine Atrophie durch Tenotomie entwickelte sich langsamer als eine Denervationsatrophie.
3. Tenotomie und Denervation brachten die selbe Atrophie wie Denervation alleine.
4. Passive Streckung und Elektrostimulation beeinflussten die Atrophierate nicht.

Kritische Bemerkung: Wie sehr sich eine 120 stündige Luminalanästhesie auf den Stoffwechsel eines Rattenkörpers auswirken kann, wird dem Einschätzungsvermögen des Lesers überlassen. Eine zusätzlich durchgeführte Stimulation über 120 Stunden permanent mit Supramaximalreizen kann hinsichtlich der Belastung nicht mehr unkritisch betrachtet werden. Wie früher schon erwähnt, braucht der Rattenmuskel mindestens 10 Minuten Pause zwischen den Stimulationen. Eine lokale Überlastung im Muskel könnte durch die Nadelelektroden hervorgerufen worden sein, da die hohe Stromdichte sicherlich zu Entzündungen zumindest im Elektrodenbereich geführt haben könnte.

HERBISON e.a. (21): (Ratten, faradischer und galvanischer Strom, Hautelektroden, 2x täglich 1 Minute, dazwischen 1 Stunde Pause) Dem faradischen Strom wird nur in den ersten 2-3 Wochen eine Bedeutung zugemessen, dann habe nur noch der galvanische Strom eine beschränkte Wirkung. (Verlängerung der Chronaxie). Interessanterweise nahm das Anfangskörperge-

wicht der Tiere im Durchschnitt zu, jedoch konnte kein Unterschied im Gewicht zwischen behandelten und unbehandelten Tieren festgestellt werden. Zudem wurden an verschiedenen Tieren Fersenulcera festgestellt, die während der Behandlung aber abgeheilt waren. Die Beobachtung früherer Arbeiten, bei denen behauptet wurde, daß tiefer gelegene Muskelfasern der Elektrotherapie nicht so zugänglich seien wie oberflächlich gelegene Fasern, konnte in dieser Arbeit nicht entsprochen werden. Es fand sich kein Unterschied zwischen tiefen und oberflächlichen Fasern. Zudem wurde ein Anstieg des durchschnittlichen Körpergewichtes der Versuchstiere verzeichnet. Trotzdem konnte aufgrund der Ergebnisse der Elektrotherapie kein Einfluß beigemessen werden.

Kritische Bemerkung: Nachdem der Rattenmuskel im Vergleich zu anderen Muskelarten keinen großen Querschnitt besitzt, kann man davon ausgehen, daß der Stromdurchfluß im Gesamtmuskel gewährleistet ist. Damit erklärt sich, daß keine Differenz zwischen tiefer gelegenen Muskelschichten und oberflächlichen vorhanden sein konnte.

MOLANDER e.a. (101): (Hunde, 2x täglich 5 Minimalkontraktionen, zusätzlich Infrarotbestrahlung) Bei dieser Versuchsreihe kam man zu folgenden Ergebnissen:

1. In keinem der Fälle konnte eine faradische Stimulation eine Kontraktion auslösen.
2. Keine meßbare Verzögerung des Gewichtsverlustes im behandelten und unbehandelten Muskel, jedoch war in 6 von 9 behandelten Fällen eine histologisch geringfügig kleinere Atrophierate sichtbar.
3. Der unbehandelte Muskel zeigte eine bessere Ansprechbarkeit auf galvanische Reize als der behandelte, jedoch hatten beide (behandelt und unbehandelt) einen Verlust der Ansprechbarkeit während des Experimentes zu verzeichnen.
4. Im Nerven konnten keine Unterschiede in histologischer Hinsicht zwischen behandelten und unbehandelten Fällen festgestellt werden.
5. Diese Ergebnisse zeigen keinen klaren Vorteil der Elektrotherapie bezüglich der Genesung gelähmter Muskeln.

Kritische Bemerkung: Nach der Operation wurden den entsprechenden Tieren

300 ccm Glukosesalzslösung in 5. %iger Konzentration subcutan injiziert. Offensichtlich sollte damit eine bessere elektrische Leitfähigkeit gewährleistet werden. Da es sich hierbei aber um eine hyperosmolare Lösung handelte, muß angenommen werden, daß dadurch eine Gewebereizung ausgelöst wurde.

(Bei den nun folgenden Arbeiten werden die Stromarten nicht genau definiert)

NIX (83): (Kaninchen, implantierte Elektroden, Niederfrequenz von 10-12 Hz, Stimulus 0,5 ms, 8 Stunden täglich) In dieser Arbeit wurden vorwiegend physikalische Daten erfaßt:

1. Latenzperiode (in diesem Fall Zeit zwischen direkter Stimulation und Kontraktionsbeginn): Es konnte kein signifikanter Unterschied zwischen stimulierten und unstimulierten Muskeln festgestellt werden.
2. Maximalzuckungszeit: Diese war im Gegensatz zum gesunden Muskel bei allen (denerviert-stimuliert und denerviert-nichtstimuliert) verlangsamt.
3. Relaxationszeit: Die Relaxationszeit (1/3-Relaxation) war bei den stimulierten Muskeln nicht so langsam wie bei den unstimulierten.
4. Kontraktionsstärke: Keine Signifikanz zwischen stimulierten und unstimulierten Muskeln.
5. Tetanische Spannung: Eine sich entwickelnde tetanische Spannung war nach kurzzeitigen Stimuli (0,3 ms) im stimulierten-denervierten Muskel signifikant kürzer als im nichtstimulierten Muskel (denerviert).
6. Muskelaktionspotential: Die Streuwerte der einzelnen Ergebnisse waren zu groß, um eine Signifikanzberechnung möglich zu machen.

PACHTER und EBERSTEIN (100): (Ratten, im Fettgewebe implantierte Elektroden, 10 Hz, für 10 Sekunden Stimulation, 10 Sekunden Pause, Minimalkontraktionen, täglich 1 Stunde) Ein Einfluß der Elektrotherapie bezüglich der

Verringerung der Denervationsatrophie konnte bei beiden Muskeltypen (Typ-1 und Typ-2) verzeichnet werden, obwohl beide Typen atrophierten, jedoch Typ-1-Fasern weniger als Typ-2-Fasern. Im stimulierten Typ-2-Muskel waren Glykogeneinlagerungen im hohen Maße vorhanden, unregelmäßig im denervierten nichtstimulierten und gar nicht im Kontrollmuskel.

JONES e.a. (14): (Ratte, indirekte Stimulation am peripheren Nervenstumpf, verschiedene Anwendungszeiten, chronisch 7 Stunden täglich) 48 Stunden nach Nervendurchtrennung wurden aus beiden Gruppen die Muskeln explantiert und in eine Krebs-Henseleit-Lösung gelegt. Sodann wurde den verschiedenen Muskellösungen ACh in verschiedenen Konzentrationen zugefügt, sowie direkte Stimulation ausgeführt.

Dabei reagierten vorher stimulierte Muskeln erst auf viel höhere Konzentrationen von ACh (Faktor 50-500) als die nicht stimulierten Muskeln. KOSMANN und OSBORNE (108): (Ratten, Stimulation mit 25 Hz, 40 Kontraktionen pro Minute, 2x5 Minuten täglich) Die Ergebnisse dieser Arbeit besagen:

1. Der Spannungsverlust eines denervierten Muskels tritt schneller und stärker ein als der Gewichtsverlust.
2. Nach erfolgter Reinnervation kehren sich diese Verhältnisse um: Die Spannung kehrt schneller zurück als das Gewicht.
3. Die Elektrotherapie erhält den denervierten Muskel in einem schwereren und stärkeren Zustand während der Genesungs- bzw. Denervationsphase.
4. Die Elektrotherapie hat keinen Effekt mehr auf den Genesungsverlauf (nach erfolgter Reinnervation).

JONES e.a. (103): (Ratten, hohe Denervation, implantierte Elektroden 40 Hz, Reizimpuls 500 ms alle 90 Sekunden, 1-2 Stunden täglich) Die größte ACh-Empfindlichkeit der Rattenmuskeln (Musculus soleus) konnte 48-72 Stunden nach Denervation festgestellt werden. Eine direkte Elektrostimulation der denervierten Muskeln verhinderte den Fortgang der Denervationshypersensitivität auf ACh. Ab einem bestimmten Zeitraum (nach der höchsten Sensitivität) kann auch die Elektrostimulation die ACh-Hypersensitivität nicht mehr beeinflussen. Die gleiche Muskelhypersensitivität konnte auch bei Muskeln beobachtet werden, bei denen ein kleines Stückchen

Faden oder ein Stückchen degenerativer Nerv angenäht worden war. Diese Art von Hypersensitivität nahm jedoch im Gegensatz zur Denervationshypersensitivität nach Tagen ab.

LUTHERT e.a. (45): (Mäuse, implantierte Elektroden, direkte Stimulation, 10 Hz, täglich 6x40 Minuten) Alle Mäuse hatten in den behandelten Muskeln größere Kraft und geringere Nekroseherde als in den unbehandelten Muskeln. Man zieht daraus den Schluß, daß ein sorgfältig ausgewähltes Reizmuster für den entsprechenden Muskel Vorteile bringen kann. Kritische Bemerkung: Da in diesem Versuch keine Denervationen durchgeführt wurden, kann an eine Übertragbarkeit dieser Werte nicht gedacht werden.

SCHRÖDER und NIX (28): (Kaninchen, externe und interne Elektroden, direkte und indirekte Reizung, 10 Hz, 8-24 Stunden pro Tag) In dieser Arbeit wurde der Einfluß der Reizperioden und direkter und indirekter Stimulation auf die Histochemie und Morphologie des Muskels untersucht. Dabei kam man zu der Auffassung, daß eine Änderung der Reizperioden keinen erkennbaren Einfluß (8-24 Stunden pro Tag) auf die histochemischen Parameter des Muskels haben. Außerdem konnte lediglich die indirekte Stimulation das Fasermosaik des Muskels ändern.

HERBISON und JAWED (89): (Ratten, implantierte Elektroden, 10 Hz, submaximale Stimulation, 4 ms Stimulation, 8 Stunden täglich) Nach verschiedenen Perioden (5-30 Tage) konnte folgendes festgestellt werden:

1. Muskeln waren nach 10 Tagen Stimulation schwerer und hatten weniger Fibrillationspotentiale nach 5-15 Tagen als die Kontrollmuskeln.
2. Die ACh-Sensibilität war bei beiden Gruppen (Kontrolle und Experimentiergruppe) während der gesamten Experimentierdauer gleich.
3. 20-30 Tage nach der Nervenquetschung konnten in beiden Gruppen gleich starke Fibrillationspotentiale gemessen werden.

Die Elektrostimulation reduzierte zwar die Atrophierate und die Anzahl der Fibrillationspotentiale, jedoch konnte sie die Reinnervation weder beschleunigen, noch behindern.

SCHIMRIGK e.a. (1): (Ratten, 3x täglich 2 Minuten Stimulation, Hautelektroden, Supramaximalreize, 5 Hz) Die elektrisch stimulierten Muskeln zeigten wenige zentrale Kerne und eine größere Zahl von nekrotischen Einzelfasern. Man nimmt an, daß die Elektrostimulation zwar einen verzögernden Effekt auf die Atrophie hätte, jedoch auch auf die Regeneration der einzelnen Fasern. Nach 7 Wochen hätten die nichtstimulierten Muskeln ein größeres Ausmaß von Regeneration gezeigt als die stimulierten.

Aufgrund dieser Ergebnisse wird angezweifelt, daß die Anwendung der Elektrophysiotherapie in der Humanmedizin von Nutzen sei.

Kritische Bemerkung: Nicht nur die Übertragung Ergebnisse von Experimenten mit Ratten muß abgelehnt werden, sondern auch die Anwendung von Supramaximalreizen an diesen empfindlichen Muskeltypen.

4.2.5. Elektrodenarten (direkte und indirekte Reizung, implantierte Elektroden, Nadelelektroden, externe Elektroden)

Es wurde versucht, einen Vergleich darzustellen zwischen der Zeit der Stimulation, der Kontraktionsart (starke oder schwache Kontraktion) und den Elektrodenarten (implantierte oder externe Elektroden).

Die Ergebnisse sind in Tabelle 7 zu ersehen. Diese Aufstellung ist leider nur als Tendenz anzusehen, da nur ein Teil der insgesamt verwendeten Literatur einzugliedern war. Man kann jedoch folgendes erkennen:

1. Es werden mehr implantierte Elektroden als externe Elektroden verwendet.
2. Die chronisch angewandte Stimulation überwiegt bei Weitem.
3. Bei den extern angewandten Stimulationen (Hautelektroden) sind in dieser Aufstellung nur kurzzeitige Stimulationsperioden einzugliedern gewesen. (Arbeitsaufwand ?)
4. Bei den extern angewandten Stimulationen überwiegen im Verhältnis die Maximalstimulationen.
5. Bei den implantierten oder Nadelelektroden überwiegen die chronischen Stimulationen über mehrere Stunden. (Arbeits-technisch leichter möglich, da keine Elektroden manuell plziert

Tabelle 7

	Interne Elektroden (implantiert, Nadel)			Externe Elektroden (Haut)		
chron. permanent od. chron. mehrere Stunden täglich	●22 ●43	○27 ●16	●15 ●3 ●20 ○□9 ○89 ○36			
chron. alternierend (mit Pausen) od. chron. bis zu 2 Std.			●13 ○2 ○25 ○4 ○103 ○100			
kurze Zeit bis tägl. mehrere Minuten			●6 ●50 ●11 ●1	■82 ○17 ○21	●24 ●10 ○12 ●23 ●91 ●8	
Ergebnisse:	schädlich → indifferent → nützlich			schädlich → indifferent → nützlich		
	○ = direkte Reizung ● = direkte Reizung, starke max. Kontr. □ = indirekte Reizung ■ = indirekte Reizung, starke max. Kontr.					

werden müssen).

6. Bei den implantierten Elektroden scheinen chronisch angewandte schwache bis normale Stimuli einen nützlichen Effekt zu haben, wohingegen bei den externen Elektroden nur Maximalreize zu befriedigenden Ergebnissen zu führen scheinen.

Aus den genannten Punkten ergeben sich interessante Hinweise bezüglich der Übertragbarkeit der Versuche auf den Menschen:

1. Chronische Stimulation mit implantierten Elektroden sind beim Menschen praktisch nicht durchführbar.
2. Maximalkontraktionen mit externen Elektroden sind beim Menschen aufgrund der Schmerzschwelle nicht erreichbar.

Hier muß nochmals betont werden, daß es sich lediglich um Tendenzen handelt, die zu einer Begründung verwendet wurden. Da aber ein großer Teil von Arbeiten aufgrund mangelnder Angaben der Methodik oder anderen Gründen nicht eingeordnet werden konnte, muß mit einer statistischen Verfälschung gerechnet werden. Eine erneute Arbeit die mehr auf einer statistischen Basis gegründet sein sollte, könnte sicherlich viele ähnliche Fragen beantworten.

4.2.6. Tägliche Anwendungsdauer:

Es waren nur wenige Arbeiten zu eruieren, die sich primär mit der täglichen Stimulationsdauer beschäftigten. Alle gefundenen Ergebnisse beruhen auf Versuchen mit Ratten und Kaninchen.

SCHRÖDER, NIX (28): (Kaninchen, externe und interne Elektroden, direkte und indirekte Reizung, täglich 8-24 Stunden, insgesamt 22-80 Tage)

Eine Änderung der Reizperioden (von 8 auf 24 Stunden pro Tag) habe keinen erkennbaren Einfluß auf die histochemischen Parameter des Muskels erbracht.

KOSMANN und OSBORNE (7): (Ratten, Wechselstrom 25 Hz, isometrische und isotonische Kontraktionen) Man kam dabei zu folgenden Ergebnissen:

1. Kurze Stimulationsperioden (30 Sekunden) sind ebenso wirkungsvoll wie lange Perioden (15 Minuten), um eine Atrophieverzögerung des Rattenmuskels zu erreichen.
2. Eine Steigerung der Anzahl der täglichen Stimulationen (bis zu 3 täglich) erhöhte den Effekt der elektrischen Stimulation bezüglich der Erhaltung von Gewicht und Kraft des denervierten Muskels.
3. Die selben Auswirkungen kurzer und langer Übungsperioden auf den Muskel ist dadurch begründet, daß der Rattenmuskel sehr schnell ermüdet. (Für diesen Nachweis sei also der Rattenmuskel weniger geeignet)
4. Die Erholungszeit eines Rattenmuskels dauert nach der Stimulation mindestens 10 Minuten.
5. Wenn denervierte Muskeln 3x täglich mit 2, 5 oder 10 Minuten Pause dazwischen stimuliert wurden, dann gewann nur der mit 10 Minuten Rast einen Vorteil in der häufigen Übung.

Kritische Bemerkung: In den verschiedenen Gruppen wurden isometrische und isotonische Kontraktionen getrennt angewandt. Bei der Ergebnisauswertung scheint das jedoch nicht mehr berücksichtigt worden zu sein.

WAKIM und KRUSEN (10): (Ratten, Hautelektroden, Vierecksimpulse, Maximalkontraktionen, verschiedene Stimulationsperioden) Neben der Ausdauer und Arbeitsleistung des denervierten Muskels wurde im Verlauf auch die Denervationsatrophie als Meßparameter beobachtet. Folgende Ergebnisse konnten erbracht werden:

1. Täglich 1x30 Minuten Stimulation erbrachte einen leicht positiven Effekt.
2. 2x täglich 30 Minuten Stimulation zeigte bereits bessere Auswirkungen.
3. Stimulation von 5 Minuten alle halbe Stunden über 8 Stunden täglich hatte genausoviel Effekt als längere Stimulation über 8 Stunden.
4. Nach 25-30 Tagen konnte festgestellt werden, daß man die Atrophie zwar eingeschränkt hatte, nicht jedoch habe verhindern können.

GUTMANN und GUTTMANN (24): (Kaninchen, Hautelektroden, galvanischer Strom, starke Kontraktionen, verschiedene Stimulationsperioden täglich)
Bei dieser sehr aufwendig durchgeführten Versuchsreihe wurden verschiedene Gruppen gebildet. Verschiedene Denervationsarten wie Quetschung des Nerven, Durchschneidung mit Primärnaht, Durchschneidung mit Sekundärnaht, früher Behandlungsbeginn, später Behandlungsbeginn, Kurzzeit- Langzeitdenervation und dergleichen wurde berücksichtigt. Man kam dabei zu der generellen Ansicht, daß der Effekt der Elektrotherapie erst positiv sei, wenn man

1. tägliche Anwendung betreibe
2. starke Kontraktionen erreiche
3. je eher man mit der Behandlung beginne
4. täglich wenigstens 15-20 Minuten stimulierte (bei 30 Minuten nicht signifikant besser).

Eine Zerstörung von denervierten Muskeln durch verlängerte tägliche Behandlungsdauer konnte nicht festgestellt werden. Hinsichtlich der täglichen Stimulationsperioden wurden folgende Entdeckungen gemacht:

20 und 30 Minuten täglich > 10 Minuten täglich > 20 Minuten 2x wöchentlich
> täglich mit 1 mA (Minimalzuckung).

Nervenquetschung: Tägliches Training zeigte eine bessere Muskelerhaltung, jedoch keine schnellere Reinnervation.

Primärnaht: Es ergab sich keine Signifikanz im Vergleich mit der Quetschung bzw. der Sekundärnaht hinsichtlich der Reinnervation.

Kritische Bemerkung: Aufgrund dieser Ergebnisse wird in dieser Arbeit von den Autoren gefordert, beim Menschen solange die Elektrotherapie fortzusetzen, bis befriedigende motorische Genesung eingetreten sei. Daß jedoch

mit einer Stromstärke von 4-6 mA beim hier verwendeten Kaninchen starke Kontraktionen mit einer möglichen Totaldurchströmung des Muskels erreicht wurden, dies jedoch beim Menschen wegen der meist größeren Muskelmasse nicht erreicht werden kann, ohne die Schmerzschwelle zu erreichen bzw. zu überschreiten, wird von den Autoren nicht berücksichtigt.

Wenn auch schon allein wegen der verschiedenen Tierspecies bzw. verschiedener Versuchsmethoden kaum eine Vergleichsmöglichkeit der Arbeiten untereinander gegeben ist, so differieren die Meinungen hinsichtlich der täglichen Stimulationsdauer doch ganz wesentlich.

4.3. Reinnervation:

Allgemeines:

Die Reinnervation eines peripher denervierten Muskels spielt wohl die wichtigste Rolle im gesamten Heilungsprozess, mit oder ohne Elektrophysiotherapie. So zitiert SHERMAN (38) in der Einleitung seiner Arbeit, daß sogar hochgradige Kontrakturen teilweise durch Reinnervation gebessert werden konnten. In eigenen Experimenten an Katzen konnte festgestellt werden, daß sich die Kontrakturen weniger stark, weniger häufig und weniger beständig nach primärer Nervennaht als bei verzögerter Naht in unbehandelten Tieren einstellten. Bei verzögerter Nervennaht wurden mehr bleibende Kontrakturen entdeckt als bei primärer Nervennaht. Zusätzlich durchgeführte Elektrophysiotherapie und Massage konnte bei primärer Nervennaht die Kontrakturerscheinungen über eine längere Periode verzögern. Bei Reinnervationsversuchen mit Fremdnerven (sensorischen Fasern) bewies GUTMANN (73), daß eine Atrophieverzögerung nicht erreicht werden konnte, sogar wenn die Fremdnervenfasern den Muskel durchsetzt hatten.

Hier konnte nicht einmal die Fibrillation des Muskels unterdrückt werden. Zusätzlich wurde festgestellt, daß sensorische Nervenfasern, sogar wenn sie die motorische Endplatte erreichten, die Fähigkeit terminale Äste zu bilden - wie das motorische Fasern können - nicht bewiesen. Er kam dabei zu dem Ergebnis, daß nur motorische Fasern für die Erhaltung der tro-

phischen Bedingungen des Muskels brauchbar wären und nur diese eine Abbremsung der atrophischen Veränderungen ermöglichten. In einem anderen Experiment konnte GUTMANN (29) an denervierten Kaninchenmuskeln bzw. -nervenenden folgende Beobachtungen machen:

1. Nach Unterbrechung des Nerven (Quetschung) zeigte sich kein Anstieg der Anzahl der Kerne innerhalb des Sarkoplasmas der Endplatte, jedoch nahmen die äußeren Fibrozyten zahlenmäßig zu. Wenn eine Muskelfaser schrumpft, kann ihre Endplatte intakt bleiben, zwar geschrumpft, jedoch länger als ein Jahr nach Denervation.
2. Nachdem ein Nerv nahe dem Muskel durch Quetschung unterbrochen wurde, kehrt eine Nervenfaser zu jeder Endplatte zurück und tritt schnell in Kontakt mit ihrem Sarkoplasma.
3. Nach längeren Atrophieperioden, die durch Quetschung des Nerven in einiger Entfernung vom Muskel entstehen, entflieht eine Anzahl der rückkehrenden Fasern und bildet eine ultraterminale Faser (distal der Verletzung gelegen). Einige Endplatten werden nicht reinnerviert, jedoch bilden sich neue Endplatten, wo die ultraterminalen Fasern das Sarkoplasma berühren.
4. Nach Durchtrennung und unmittelbarer Naht des Nerven sind diese Tendenzen vermehrt vorhanden, zusätzlich treten noch viele kleine Fasern in den Muskel ein (vorwiegend sympathische). Hier bilden sie keine Endplatten, die Fasern sprossen aber aus, um ein Netzwerk entlang der Muskelfasern zu bilden. Wenn sich eine große und eine kleine Faser einer Endplatte nähert, tritt nur die größere in diese ein.
5. Die Zahl der Nervenenden in den Endplatten nähert sich in ca. 70 Tagen nach Quetschung nahe dem Muskel den Normalwerten, erst nach 100 Tagen nach einer etwas entfernten Quetschung.
6. Die Verzögerung zwischen der Rückkehr der Fasern zum Muskel und der Reflexfunktion dauert etwa 11 Tage, nachdem der Nerv nahe am Muskel gequetscht wurde, 22 Tage nach einer entfernten Quetschung und 25 Tage nach Durchschneidung und Naht nahe dem Muskel. Nach verzögerter Nervennaht mit ansteigenden Denervationsperioden steigt die Verzögerung der Reflexfunktion an, erreicht eine Zeit-

spanne von 55 Tagen nach 9-monatiger Atrophieperiode.

7. Nach längerer Denervationsperiode nimmt die Anzahl der re-innervierten Endplatten im Verhältnis ab, die meisten Nervenfasern bilden neue Endplatten.

Die Verhinderung einer nicht erwünschten Fremddinnervation eines denervierten Muskels beschreibt JANSEN e.a. (20) durch Elektrostimulation mit Supramaximalreizen. Da normale Muskelfasern gewöhnlich nur durch eine einzige motorische Nervenfaser innerviert werden, sei der Effekt einer zusätzlichen Innervation durch andere motorische Fasern nicht erwünscht. Die ACh-Sensibilität einer innervierten Muskelfaser ist streng auf die Endplattenregion begrenzt. Da diese ACh-Sensibilität nach Denervation über der gesamten Muskelfaser aufzufinden ist, sei die Möglichkeit gegeben, daß eine oder mehrere zusätzliche motorische Fasern den Muskel innervierten. Durch Elektrostimulation sei dies jedoch zu verhindern - auf der nicht elektrotherapierten Seite (Kontrolle) fanden sich 60 % mehr Innervation als auf der stimulierten Seite.

Da die meisten Versuche unter unterschiedlichen Bedingungen durchgeführt wurden, erhebt sich gerade in diesem Kapitel die Frage nach der Art der Denervation bzw. den Möglichkeiten der Reinnervation (Naht, Quetschung, verzögerte Naht usw.). Diese Unterscheidungen versuchte POLLOCK (48) in seiner Versuchsreihe mit Katze, Ratte und Kaninchen zu differenzieren. Es stellte sich keine Signifikanz zwischen Primärnaht und Sekundärnaht eines durchtrennten Nerven dar. Die Auswirkungen der Denervationsart untersuchten bereits HARTMANN und BLATZ (31) im Jahre 1919. Dabei wurde neben den negativen Erfahrungen der Elektrotherapie auch festgestellt, daß mit gequetschten Nerven eine Reinnervation viel schneller erreicht wurde als bei durchschnittenen Nerven mit Naht. Die Zeitdauer hierfür lag bei einigen Wochen.

Mit einer speziellen Art von Nervenverletzung - der sogenannten konditionierten Läsion - führte MC QUARRIE (44, 19) eine Versuchsreihe durch. Dabei wurden die entsprechenden Nerven 14 Tage vor der ursprünglichen Verletzung (Durchschneidung) distal der vorgesehenen Durchschneidung gequetscht. Dadurch wurde angeblich erreicht, daß die axonale Aussprossung beschleunigt ablief, etwa viermal soviel Axone zu Aussprossung gelangten, als bei gewöhn-

licher Nervendurchschneidung. Über ähnliche Entdeckungen berichtete SEBILLE (12), der an Ratten eine Reinnervationsbeschleunigung anhand einer konditionierten Verletzung beobachtete.

Über befriedigende Reinnervationsergebnisse auch ohne Elektrotherapie können SAKELLARIDES e.a. (86) und GUTMANN (90) berichten.

4.3.1. Positive Ergebnisse:

Über eindeutig positive Ergebnisse hinsichtlich der Reinnervationsbegünstigung durch Elektrotherapie gibt es wenig zu berichten. Lediglich LUX e.a. (41) beschreibt eine Steigerung des Proteinstoffwechsels in Nerven von elektrotherapierten Katzen. LØMO und SLATER (13) kommen in ihrer Versuchsreihe zu dem Schluß, daß durch Elektrotherapie eine Reinnervation zu begünstigen sei. Dies sei darin begründet, daß die ACh-Sensibilität durch Elektrotherapie niedrig gehalten werde, was eine Reinnervationsbegünstigung darstelle.

4.3.2. Indifferente bis negative Ergebnisse:

GUTMANN und GUTTMANN (24) zeigten an Kaninchen, daß mit Elektrotherapie bei gequetschten Nerven keine schnellere Reinnervation zu erzielen war. HERBISON (89) meinte, durch die Elektrotherapie die Atrophierate des denervierten Muskels senken zu können, stellte jedoch keinen Vorteil hinsichtlich der Reinnervation fest. Auch NIX und SEIDENFADEN (27) entdeckten keinen Einfluß der Elektrotherapie auf die funktionelle Reinnervation oder die denervationsbedingte Atrophie. Einen eher schädlichen Einfluß auf die Reinnervationsrate meinten BLÜMKE und KNOCHE (22) an denervierten Kaninchenmuskeln feststellen zu können. Es muß dazu bemerkt werden, daß sie diese Ergebnisse aufgrund einer chronischen Stimulation über 8 Stunden mit Maximalkontraktionen erreichten. Sie bemerken dazu eigenständig, daß überschwellige Stromstöße möglicherweise den Elektrolythaushalt im Gewebe störten, und daher ungünstige Auswirkungen auf Plasmaneu-bildungen erreicht werden könnten.

Kritische Bemerkung: Es erhebt sich hier die Frage, wie dies wohl mit geringerer Kontraktionsstärke und weniger langer Stimulation aussehen würde.

Auch IRONTON e.a. (43) kam mit chronischer Stimulation und Maximalreizen bei Mäusen zu ähnlich negativen Ergebnissen. So wurde eine Reduktion der Anzahl der Nervenausprossungen sowie eine Reduktion der Zahl der erfolgreichen Nervenausprossungen durch die Elektrotherapie erreicht.

Kritische Bemerkung: Auch hier muß die Frage gestellt werden, inwieweit eine chronisch durchgeführte Maximalstimulation als nozizeptiver Reiz zu gelten habe.

MOLANDER e.a. (101) jedoch erreichte mit 2 x täglich 5 gerade sichtbaren Kontraktionen histologisch gesehen keine schnellen Reinnervationen bei Hunden. Ebenso HERBISON e.a. (21) beschreibt mit einer 2 x täglich 1-minütiger Stimulation an Ratten keinen Unterschied zwischen elektrotherapierten und nicht therapierten Muskeln hinsichtlich der Reinnervationszeichen.

Kritische Bemerkung:

In den unter 4.3.2. aufgeführten Arbeiten besteht eine erhebliche Diskrepanz der Anwendungsweisen der Elektrotherapie. So wurde einerseits chronische Stimulation mit Maximalreizen durchgeführt, andererseits kurze Stimulationsperioden mit Minimalkontraktionen, wobei jedesmal negative, bzw. indifferente Ergebnisse erzielt wurden. Der Mittelweg hinsichtlich einer zeitlich sowie von der Stärke her angepaßten Stimulation wird in diesem Kapitel vermißt. Es kann daher angenommen werden, daß es sich bei den Ergebnissen um überwiegend falsch negative Aussagen handelt.

4.4. Besondere Anwendungsarten und ihre Auswirkungen:

(Massage, passive Bewegung, Infrarot-Bestrahlung etc.)

In keiner der bisher verwendeten Arbeiten konnte eine negative Auswirkung von Massage oder passiver Bewegung verzeichnet werden. So sprechen POLLOCK und ARIEFF (42) der Massage sowie passiver Bewegung von degenerierten Gliedmaßen die Verhinderung von Kontrakturen zu. Bei einer Entstehung von Kontrakturen würden sie ihr Ausmaß vermindern und ihr Verschwinden erleichtern. Eine Atrophieverzögerung konnte jedoch nicht erreicht werden.

Massage und passive Bewegung würden laut SHIRMAN (38) definitiv die Häufigkeit und Stärke von Kontrakturen vermindern. Zusätzlich durchgeführte Elektrotherapie würde noch bessere Ergebnisse hinsichtlich der Kontrakturerscheinungen erbringen. HARTMANN und BLATZ (31) kommen zu dem Schluß, daß weder Massage noch galvanische Therapie einen heilungsfördernden Einfluß auf den denervierten Muskel hätten. MOLANDER e.a. (101) benutzte zusätzlich zur Elektrotherapie Infrarot-Bestrahlung des betroffenen Muskelabschnittes. Man erreichte damit weder positive Effekte, noch wurde auf die Bedeutung der Infrarot-Bestrahlung näher eingegangen.

5. Zusammenfassende Kritik und Diskussion:

Ein Vergleich der einzelnen Arbeiten untereinander, bzw. eine Übertragung auf die klinischen Anwendungen ist mit großer Skepsis zu betrachten. Ebenso ist ein akademischer Initialzweifel bei den meisten Arbeiten, ob mit negativen oder positiven Ergebnissen, besonders im tierexperimentellen Bereich, angebracht. So liest man in der Einleitung einer Arbeit von POLLOCK e.a. (48) : " Wenn man die Literatur analysiert, kann man entdecken, daß die Experimente an Warm- und Kaltblütern gemacht wurden. Bei Warmblütern wechselten die Species: Kaninchen, Ratte, Hund, Affe, Mensch. Die Stromarten waren von Autor zu Autor verschieden (Aufzählungen der einzelnen Arten). Die Dauer und Frequenz der Behandlung variierten von 10 diskreten galvanischen Stimuli pro Tag bis zu repetitiven Stimuli über 2 Stunden und mehr.... Man wandte Minimalkontraktionen bis Maximalkontraktionen mit Anästhesie an, die Ampère wurden in den meisten Versuchen nicht gemessen, Extremitäten wurde immobilisiert, bei anderen nicht und in den meisten Experimenten waren die Tierzahlen zu gering, um eine Aussage zu erlauben.... Aus diesen Gründen gibt es auch keine gemeinsame Meinung...."

Auch MUCHA e.a. (99) weiß von dieser Diskrepanz. In einem allerdings willkürlich zusammengefaßten Literaturüberblick von 19 Arbeiten mit einer Zeitspanne von 1848 (REID) bis 1974 (ROSSELLE) listet er die Verschiedenartigkeit der Meßparameter auf. So wurde 15 x das Gewicht bzw. der Muskelumfang gemessen, 2 x lediglich die " Regeneration " , 1 x die Histologie, 1 x die Elektromyographie, 1 x die Kraft und 2 x die Reinnervations- bzw. Funktionsentwicklung. (Die Zahlen sind deshalb nicht deckend, da in einigen Arbeiten Doppelmessungen durchgeführt wurden)

Die oben genannte Problematik des Vergleiches von weit über 100 Literaturstellen kam auch in dieser Arbeit voll zur Geltung. Im folgenden wird versucht, eine Begründung für die Anzweiflung einiger Ergebnisse, bzw. festgefahrener Meinungen im Bereich der Elektrotherapie zu finden. Vorwiegend die literarischen Übersichtsarbeiten tendieren dazu, aus tierexperimentellen Arbeiten relativ kritiklos Werte zu übernehmen, die unter den unterschiedlichsten Bedingungen und Methoden zustande kamen (Tierspecies, Reizmethode, Elektrodenart, Zeitdauer etc.). Ebenso sind die Meßmethoden in unterschiedliche Übertragbarkeitsstufen einzuteilen, wenn man alleine betrachtet,

daß Volumen, Flächen, Kraft, Leistung, ACh-Sensibilität etc. als Meßgrößen verwendet werden. Verdächtig erscheint, daß bei manchen Arbeiten, die ähnliche Methoden, bzw. Tierspecies anwenden, sehr unterschiedliche Ergebnisse verzeichnet werden. So beschreibt POLLOCK e.a. (48), daß man die Ergebnisse von GUTMANN und GUTTMANN an Kaninchen bei der Katze nicht erbringen konnte (keine Atrophieverzögerung durch Elektrotherapie). Ebenso begründet er: " Das Fehlen jeglicher statistischer Signifikanz zwischen dem Gewicht von behandelten und unbehandelten Muskeln der Katze und dem allgemeinen Gewichtsexzeß behandelter Rattenmuskeln liegt wohl in der Tierart begründet. "

Positive sowie negative Auswirkungen werden verzeichnet bei folgenden Anwendungen im Vergleich untereinander :

Chronische Stimulation versus fraktionierte oder kurze Stimulation, Maximalkontraktionen versus Minimalkontraktionen, isotonische Kontraktion versus isometrische Kontraktion, Stromarten untereinander, Frequenzbereiche verschiedener Höhe, direkte und indirekte Stimulation untereinander, implantierte Elektroden versus Hautelektroden werden verglichen. So ergaben sich auch in dieser Arbeit keine anderen Möglichkeiten des Vergleiches, wie in den Tabellen der einzelnen Kapitel ersichtlich wird. Rattenmuskeln weisen z. B. keine stark beschleunigte Atrophierate nach Denervation im Vergleich zu anderen Tiermuskeln auf. Die Regeneration der Rattenmuskeln geschieht wiederum wesentlich schneller als bei anderen Tierarten. Auch bei jungen unausgewachsenen Tieren hebt sich die Regenerationsfreudigkeit erheblich von ausgewachsenen Tieren ab. Ein Vergleich mit Tiergruppen verschiedenen Alters ist daher auch abzulehnen. KUMAR e.a. (102) meinen dazu : " Die unausgewachsenen Muskeln atrophierten früher und stärker auf die Denervation hin als die ausgewachsenen Muskeln (bei Ratten). Unreife Muskeln scheinen von neuronalem Einfluß noch mehr abzuhängen... " Kritisch bemerkt dazu STEWARD (94) : "... es scheint so, daß in vielen Experimenten die sogenannte erwachsene Ratte benutzt, das Wachstum nicht abgeschlossen war und die Atrophie, die als Differenz von der kontralateralen Seite galt, beides repräsentiert hatte, nämlich Wachstum auf der einen und Gewichtsverlust auf der anderen Seite... " Eindeutige Unterschiede bestehen auch in den verschiedenen Muskelgruppen. So gelingt bei den Flexoren generell eine

bessere Atrophieverzögerung als bei den Extensoren (40, 70). Diese Unterscheidung scheint jedoch den meisten Autoren nicht geläufig zu sein. Unterscheidungen zwischen langsamen, schnellen und intermediären Muskeltypen werden beinahe nie gemacht. NIEDERLE e.a. (88) konnte an Ratten nachweisen, daß Typ-2-Muskeln, in denen 2-b-Fasern überwiegen, schneller degenerierten als jene, in denen 2-a-Fasern überwiegen. Außerdem würden Typ-1-Fasern wesentlich langsamer degenerieren und sich über längere Zeit auf gleichem Niveau erhalten bis sie atrophierten. Ein Ansprechen dieser Muskeltypen auf verschiedene Frequenzbereiche konnte eindeutig erwiesen werden (siehe Kapitel " Frequenz "). Da man nun bei Tieren davon ausgehen kann, daß aufgrund angeborener Verhaltensweisen und dadurch situationsbedingten Stereotypen Bewegungsabläufe die Verteilung der Fasertypen ziemlich gleichmäßig in den selben Muskeln vorhanden sein wird, so muß man beim Menschen unter anderen Voraussetzungen beginnen. JOHNSON e.a. (97) untersuchte an 36 Menschenmuskeln die Typenverteilung (Typ-1, 2 a und 2 b) bzw. Variationsbreite in den selben Muskeln verschiedener Leichen. Dabei entdeckte er Verteilungsunterschiede von bis zu 30 % in den selben Muskeln. Hierbei drängt sich unwillkürlich der Vergleich zwischen einem Langstreckenläufer mit einem Kurzstreckensprinter auf. Das würde bedeuten, daß im Vergleich zu den im Käfig gehaltenen Versuchstieren beim Menschen andere Verhältnisse vorherrschen. Die Umweltbedingungen beeinflussen also die Zusammensetzung und Verteilung der einzelnen Fasertypen in den selben Muskeln verschiedener Menschen. Wenn auch schon bei den Tierversuchen kaum die Frequenzbereiche auf die entsprechenden Muskelfasertypen abgestimmt wurden, so erscheint nunmehr die Frequenzabstimmung beim menschlichen Muskel unmöglich. Umsoweniger kann in dieser Hinsicht ein Vergleich mit tierexperimentellen Arbeiten erfolgen.

Auch die Zeitforderung für eine Erholung der einzelnen Muskeltypen untereinander und in den verschiedenen Tierspecies muß berücksichtigt werden. So benötigt ein Rattenmuskel nach kurzer Maximalstimulation wenigstens 10 Minuten Erholungszeit (7). Aus sämtlichen vorliegenden Arbeiten war bezüglich der anderen Tierarten diese Erholungszeit nicht eruierbar. Es wird jedoch bedenkenlos untereinander verglichen.

Manche Versuche wurden so durchgeführt, daß bei einem Tier nur eine Extremi-

tät denerviert wurde, wohingegen die andere gesund erhalten und frei beweglich blieb. Eine mögliche reaktive Hypertrophie durch Doppelbelastung (Verteilung des Körpergewichtes auf nur drei Gliedmaßen) könnte dadurch erreicht worden sein. Keiner der Autoren kam bisher jedoch auf die Idee, diese Möglichkeit beim Gewichtsvergleich zu berücksichtigen. Die sich ergebende Gewichtsdifferenz muß als größer angesehen werden, als dies bei normal belasteten Muskeln der Fall wäre. Die sogenannte Reflexdystrophie als mögliche Fehlerquote wird von SENN (72) angesprochen. Er sieht es als erwiesen an, daß Schmerzafferenzen auf reflektorischem Weg den Muskelstoffwechsel in Richtung Katabolismus verändern könnten. Dies sei auch beim Menschen mit arthrotischen Gelenken beobachtbar.

Nervendurchtrennung:

Die verschiedensten Denervationsarten werden angewandt, um eine Atrophie zu erzeugen bzw. die Reinnervationsmöglichkeiten zu begutachten. Bei vielen Arbeiten fehlt die Angabe darüber, in welcher Höhe der Nerv durchtrennt wurde. Die Höhe der Nervendurchtrennung spielt jedoch eine sehr große Rolle in der Zeitdauer der Atrophieentstehung und des Ausmaßes der Atrophie (71, 72, 58). Gequetschte Nerven mit allen Atrophieerscheinungen am Muskel weisen eine schnellere Reinnervationszeit auf, als durchschnittene und genähte Nerven (siehe Kapitel "Reinnervation"). Ohne Berücksichtigung dieser Tatsachen werden auch in diesem Bereich Arbeiten miteinander verglichen. In diesem Zusammenhang muß ebenso auf die Tierart und das Alter des Tieres hingewiesen werden. Ein weiterer möglicher Fehler mit Verfälschungstendenz kann durch mangelhafte Nervennaht bedingt sein. Schlechte Reinnervationsbedingungen seien lt. SUNDERLAND (61) bei einer Nervennaht, die unter Zugspannung stehe, gegeben. Oedematöse Gewebsveränderungen durch nozizeptive Reizung besonders im Tierversuch können dahingehend Veränderungen hervorrufen.

Elektrotherapie - Methoden:

Viele Autoren begnügen sich damit, einfach zu schreiben, daß Elektrotherapie pro Tag, bzw. mehrmals täglich so und so lange angewendet wurde. Bestenfalls werden in diesen Arbeiten manchmal noch die Kontraktionsart, die Stromart oder zusätzliche therapeutische Maßnahmen angegeben. Eine kri-

tische Vergleichsmöglichkeit wird damit dem Leser entzogen. Dennoch übernehmen viele Autoren die Ergebnisse dieser Arbeiten. Ergebnisse chronischer Stimulationen ohne Pause werden mit denen fraktionierter Anwendungen ohne Berücksichtigung der Stromart, Elektrodenart, bzw. Applikationsart (direkt oder indirekt) untereinander verglichen.

Der von SCHALDACH (76) erwähnte Einschleicheffekt (Wirkungsverlust der Elektrostimulation innerhalb einer bestimmten Zeit) wurde praktisch nie beschrieben. Es muß davon ausgegangen werden, daß dieser sogenannte Einschleicheffekt entweder nie berücksichtigt wurde oder praktisch nicht beobachtbar ist.

Komplikationen, statistische Verfälschungen:

Nur wenige Autoren beschreiben in ehrlicher Art und Weise, welche Komplikationen während der Versuche aufgetreten sind. GRODINGS e.a. (91) weiß von Streßulcera zu berichten, die während der Experimentierzeit aufgetreten waren. Einige der Versuchstiere zeigten sogar die Tendenz, ihre gelähmten Extremitäten anzufressen. HERBISON e.a. (17) räumt der Elektrophotherapie trotz negativer Ergebnisse sogar mögliche positive Effekte ein, die jedoch durch sogenanntes Streßfasten der Tiere und damit verbundener Gewichtsabnahme maskiert worden sein könnten. Die bereits erwähnte Reflexdystrophie* (72) wurde bei keinem der Experimente in Erwägung gezogen. Die bisher aufgezählten Störfaktoren ziehen natürlich einen Gesamtgewichtsverlust bzw. Leistungsverlust nach sich. Infektionen und unspezifische Entzündungen im Bereich der Elektroden (besonders Implantationselektroden) sowie Polarisationserscheinungen bei Gleichstromanwendungen an Haut, Muskel und Nervengewebe tun ihr übriges. Bindegewebige Verwachsungen implantierter Elektroden, die bis zur Verknöcherung ausarten können und damit verbundene Erhöhung des Widerstandes werden beschrieben (39). Daß bereits ein Stückchen Faden, an der Muskelfascie vernäht, die ACh-Sensibilität auf pathologische Werte vorübergehend heben kann (für Tage) (103), sollte bei jenen Autoren zu Bedenken führen, die die ACh-Sensibilität als Meßparameter verwendeten.

Bei vielen Arbeiten kommen die oben aufgeführten Tatsachen nicht zur Sprache. Eine Nichteinbeziehung der betroffenen Tiere in die Statistik, bzw. eine Einbeziehung dieser Tiere ohne Berücksichtigung der entsprechenden Auswir-

* (Möglicherweise bei Tieren nicht vorhanden, jedoch keine Literatur vorhanden)

kungen, verfälscht den Aussagewert der Aufstellung. Da jedoch fast nie die Rede davon ist, muß angenommen werden, daß dem so ist. Hinsichtlich der bereits erwähnten Störgrößen läßt auch die Anzahl der verwendeten Tiere in den Experimenten manchmal sehr zu wünschen übrig. Manche Autoren berufen sich auf die Ergebnisse von 1-4 Tieren pro Experiment (nicht Gruppen). Beim Betrachten der oben aufgeführten Störgrößen erhebt sich die Forderung, wenigstens 10 Tiere pro Gruppe zu benützen.

Auch die Wiederholungen von Experimenten mit längst bekannten Tatsachen müßte aus ethischen Gründen vermieden werden. Als Beispiele dahingehend seien die Versuche von PACHTER e.a. (100) und HERBISON e.a. (89) genannt.

Man sieht also, daß eine Reihe von Faktoren die Ergebnisse mancher Experimente im negativen oder positiven Sinne beeinflussen kann. Bei manchem Experiment erhebt sich daher der Verdacht, daß die Ergebnisse durch nozizeptive Reize oder dergleichen bewußt negativiert wurden. Dergleichen gilt für die positiven Ergebnisse, bei denen meist verschwiegen wird, daß eine Übertragbarkeit der Tierexperimente auf den Menschen nicht gegeben ist. Gründe hierfür sind:

1. Bei den relativ kleinen Muskeln der Tiere im Vergleich zu den menschlichen, wird bei Stimulation eine relativ hohe Stromdichte erreicht, wodurch starke Kontraktionen des gesamten betroffenen Muskels ohne unerträgliche Schmerzen ausgelöst werden können.
2. Nadelelektroden, implantierte Elektroden an Nerv oder Muskel (Beginn) , Schmerzschwellenreize und/oder chronische Stimulationen über mehrere Stunden pro Tag können der Geduld eines Menschen wohl kaum abverlangt werden.
3. Bei den meisten Experimenten mit Gewichtsmessungen des betroffenen Muskels dürfte sich ein erheblicher Fehler eingeschlichen haben. Noch einige Stunden nach Stimulation mit maximalen, bzw. starken Kontraktionen ist der Muskel oedematös verquollen (93). Wenn nun sofort nach Abschluß des Experimentes der Muskel gewogen wurde - und bei den meisten kann davon ausgegangen werden - kann man sich die Gewichtsverfälschung vorstellen.

Hinsichtlich der Meßmethoden muß auch bei den klinischen Studien eine kritische Betrachtung angebracht werden. Volumenmessungen, bzw. Flächenabdrücke der Hand, stellen zu ungenaue Meßmethoden dar, um eine Angabe bezüglich der Atrophierate machen zu können, bedenkt man nur die Störgrößen der oedematösen Schwellung und Wärme (Durchblutung). Muskelbiopsien geben wiederum nur den Zustand eines kleinen Areals im Gesamtmuskel wieder. Bedenkt man nun die Möglichkeit eines sogenannten Kathodenwulstes (lokale Hypertrophie) und die Stromwirkung auf die nur oberflächlich gelegenen Muskelfasern, so ist auch mit dieser Methode nicht viel Aussagekraft gewonnen.

Die größte Schwierigkeit bei den klinischen Studien scheint jedoch die Einteilung der einzelnen Gruppen darzustellen. Mit Hinweis auf die früher erwähnte Bedeutung der Art und Höhe der Nervendurchtrennung, bzw. Verletzung, müssen hier noch zusätzliche Parameter beachtet werden wie : Zusätzliche Gewebs- und Muskelverletzungen, Polytraumatisation, Altersgruppen, zusätzliche Erkrankungen, soziale Umwelt und persönliche Bereitschaft. Im Gegensatz zu den " sauberen Verletzungen " der Versuchstiere kommen hier schwerwiegende Störgrößen zur Geltung. Werden große Gruppen klinischer Studien gebildet, so leidet unweigerlich darunter die Genauigkeit der Einteilung, trägt die Genauigkeit der Einteilung größeres Gewicht, so ergeben sich meist nur wenige Probanden, worunter wiederum die Signifikanz leidet. Wie schon früher erwähnt, können Reinnervationen bis zu 2 Jahren nach Verletzung auch ohne Elektrotherapie noch eintreten. Sind in dieser Behauptung auch nicht die Verletzungsart oder die näheren Umstände angesprochen, so induziert sie doch Bedenken.

Resümiert man nun die Ergebnisse der wichtigsten Kapitel " Reinnervation und Atrophie " , so drängen sich dem aufmerksamen Leser folgende Fragen auf :

1. Beinhaltet die Elektrotherapie möglicherweise zwei gegensätzliche Reaktionen: Sie vermindert zwar einerseits die Atrophierate, behindert aber die Reinnervation ?
2. Wendet man keine Elektrotherapie an, so behindert man zwar die Reinnervation nicht, der Muskel fibrosiert jedoch in dem Zeitraum bis zur Reinnervation so weit, daß selbst nach erfolgter Reinnervation keine befriedigende Ergebnisse mehr erzielt werden können ?

Für was also entscheidet man sich ?

Sollten diese Fragen jemals eindeutig geklärt werden, so müßte man sich erst über die Behandlungsart, wie Stromform und -stärke, tägliche Anwendungszeit und dergleichen einigen. Bis dahin sollte aber vorerst eine gemeinsame Nomenklatur gefunden werden. Alleine die Angaben über Kontraktionsarten geben über die Variationsbreite Aufschluß. So spricht man von Maximalkontraktionen, starken Kontraktionen, supramaximalen Kontraktionen, Minimalkontraktionen und " ... eben sichtbaren Kontraktionen ". Man könnte sich hierbei fragen, wann die Schmerzschwelle überschritten wird und wann die Verätzung beginnt.

6. Ergebnisse:

6.1. Reinnervation:

6.1.1. Eine Aussage über einen negativen oder positiven Effekt der Elektrotherapie auf die Reinnervation kann aufgrund der vorliegenden Ergebnisse nicht gemacht werden (Begründungen siehe Kritik und entsprechende Kapitel). Tierexperimente unter Berücksichtigung der hier gewonnenen Aspekte (siehe auch unter Punkt 7) wären angebracht. Proximale Muskelgruppen scheinen bessere Reinnervationschancen zu besitzen als distale (61). Die Höhe der Nervendurchtrennung (Abstand zum Muskel) spielt eine große Rolle hinsichtlich der Erhaltung des Muskels. Proximale Nervendurchtrennungen erhalten den Muskel länger in relativ gutem Zustand als distal gelegene Durchtrennungen. Umgekehrt verhält es sich mit den Reinnervationen: Je näher der Nerv am Muskel durchtrennt wurde, desto eher stellen sich Reinnervationszeichen ein (29).

Wie im Kapitel "Reinnervation" deutlich beschrieben ist, spielt auch die Art der Denervation und Versorgung eine große Rolle: Nervendurchschneidungen mit primärer oder sekundärer Naht konnten keine so guten Reinnervationsbedingungen darstellen wie eine Nervenquetschung.

6.1.2. Sensorische Nerven können die Trophik des Muskels nicht erhalten (73).

6.1.3. Eine Muskelatrophie ähnlich der Denervationsatrophie kann auch durch Anästhesie (Manschette mit Lokalanästhetikum) am versorgenden Nerven erreicht werden.

6.1.4. Mit einer Reinnervation kann bis zu zwei Jahren nach Verletzung gerechnet werden - je nach Denervationsart. Möglicherweise sollte eine Elektrotherapie mit zusätzlichen Maßnahmen (siehe unten) bis dahin durchgeführt werden.

6.2. Atrophie:

6.2.1. Der Elektrotherapie kann ein atrophieverzögernder Effekt nicht eindeutig abgesprochen werden. Zusätzliche Maßnahmen wie passive Bewegung, Vordehnung des Muskels und Massage scheinen keinen negativen Einfluß zu nehmen.

6.2.2. Die Elektrotherapie scheint auf Extensoren mehr Einfluß hinsichtlich der Atrophieverzögerung zu nehmen, als an Flexoren. Auch die Typ-2-Faser spricht generell besser darauf an, als die Typ-1-Faser.

6.2.3. Eine Frequenzabstimmung auf die einzelnen Fasertypen in den ent-

sprechenden Muskeltypen kann beim Menschen wegen der Verteilungsunterschiede (97) nicht durchgeführt werden.

6.2.4. Die Größe und der Zustand des zu behandelnden Muskels ist von Bedeutung. Je größer ein Muskel , desto schlechtere Ergebnisse sind zu erwarten.

6.2.5. Der Erfolg der Elektrotherapie denervierter Muskeln bei Kindern hinsichtlich negativer Einflüsse ist noch nicht zur Gänze untersucht.

6.3. Stimulationsart:

6.3.1. Kontraktionen :

Isotonische Kontraktionen haben einen positiven Einfluß auf die Leistungserhaltung des Muskels, isometrische scheinen einen besseren Einfluß auf die Atrophieverminderung zu haben. Daher wäre es interessant, festzustellen, wie sich beide im Wechsel ergänzen.

Ob starke Kontraktionen einen günstigeren Effekt hervorrufen als schwache, geht aus der Literatur nicht eindeutig hervor.

6.3.2. Dauer :

Mit Rücksichtnahme auf die Ermüdungsrate des entsprechenden Muskels und der täglichen Konstitution des Patienten sind fraktionierte tägliche Anwendungen (2-3 x) angebracht. Ausfälle über einen Tag hinaus sollten vermieden werden. Die Anwendung von Heimgeräten und eine entsprechende Schulung der Patienten an diesen Geräten würden sicherlich einen großen Vorteil bedeuten. Eine Frist von 10 Tagen bis zum Behandlungsbeginn sollte nicht überschritten werden. Bei starken Lähmungen (totalen) muß der hohen Ermüdungsrate durch häufige Pausen (62) Rechnung getragen werden.

6.3.3. Strom :

1. Genaues Elektrodenanlegen ist die wichtigste Voraussetzung für eine sinnvolle Therapie.
2. Eine Längsdurchströmung des Muskels könnte von Vorteil sein.
3. Die Stromstärke muß der täglichen Konstitution und Hautleitung des Patienten jeweils neu angeglichen werden.
4. Die Frequenzabhängigkeit der Muskelfasertypen ist erwiesen, so auch die Möglichkeit der Muskelmetamorphose (PETTE, NEMETH etc.). Eine Abstimmung der Impulsfrequenz auf die entsprechenden Muskeln ist beim Menschen wegen der Verteilungsmuster (97 , 88) nicht

möglich.

5. Bidirektionale Vierecksimpulse oder galvanische Vierecksimpulse mit Polaritätswechsel stellen die Reizform der Wahl dar, da damit eine Polarisierung der Haut, bzw. Gewebsareale an den Elektroden vermieden wird. Faradische und indirekte Stimulation wird deswegen abgelehnt, da zur Kontraktionsauslösung wesentlich höhere Energien benötigt werden. Außerdem schwindet die faradische Erregbarkeit des denervierten Muskels innerhalb weniger Tage nach Denervation.

6.4. Interpretation der Literatur:

6.4.1. Literaturstellen mit mangelhaften Angaben hinsichtlich der Methodik der Durchführung sollten nicht kritiklos übernommen werden. Auch fehlende Angaben über mögliche eingetretene Schwierigkeiten und Komplikationen sollten Anlaß zur Skepsis geben.

6.4.2. Gründe für

6.4.2.1. falsch negative Aussagen:

Chronische Stimulationen und/oder Supramaximalreize stellen eine nozizeptive Behandlung dar. Daraus resultierende Entzündungen können die ACh-Sensibilität (4) zu pathologischen Werten erhöhen. Bei manchen Arbeiten stellt jedoch die ACh-Sensibilität den einzigen Meßparameter dar. Dem sogenannten "Streßfasten" unterliegen besonders ältere Ratten. Sie verlieren dabei mit Elektrostimulation erheblich an Körpergewicht (17). Ein Vergleich zwischen jungen und alten Ratten, bzw. Vermischungen der Altersgruppen muß zu Signifikanzfehlern führen.

6.4.2.2. Falsch-positive Aussagen:

Fasten bringt jedoch keinen Verlust bezüglich der Kraftentwicklung. Da nun die Kraft sehr häufig als Meßparameter für die Atrophierate verwendet wird, kann auch hieraus keine Aussage gewonnen werden.

7. Vorschläge für neue Studien :

7.1. Tierexperimentelle :

7.1.1. Tierspecies :

Es wäre wünschenswert, Tiere zu benützen, deren Myoglobinsequenz und Muskel-typenverteilung der des Menschen am ähnlichsten erscheint. Werden spezifische Versuche an Tieren durchgeführt, so sollten pro Gruppe wenigstens 10 Tiere verwendet werden. Die selben Versuche müßten unter gleichen Bedingungen an 3-4 verschiedenen Tierarten durchgeführt werden, um überhaupt eine Aussagekraft zu erlangen (verschiedene Ermüdungsraten, Leistung, Streßeinfluß etc.). Wünschenswert wäre es, Tierarten auszusuchen, die aufgrund ihrer Sensibilität nicht zu streßbar sind wie zum Beispiel Katzen oder Affen.

7.1.2. Muskelart:

Genaueste Differenzierung der Muskelart in histologischer und funktioneller Hinsicht muß gefordert werden, da sonst keine Vergleiche möglich sind.

7.1.3. Denervationsart:

Die Höhe und Art der Denervation (Quetschung , Durchschneidung, Annaht oder ohne Naht etc.) muß nicht nur angegeben werden, sondern auch bei andersartigen Fragestellungen (z. B. Wirkung von Stromart) in allen Versuchsdurchführungen gleich sein.

7.1.4. Stimulationsart:

7.1.4.1. Soll eine Aussagekraft bezüglich der Übertragbarkeit auf den Menschen erreicht werden, so muß die angewandte Methode auch dem Menschen zugemutet werden können (implantierte Elektroden, Stärke des Stimulus, Zeitdauer etc.).

7.1.4.2. Die Kontraktionsarten müssen angegeben werden und sollten nochmals durchgetestet werden: Isometrische Kontraktion - isotonische Kontraktion, Maximalkontraktion - Minimalkontraktion.

Die Anzahl und Zeitdauer der Kontraktionen bis zur Ermüdung des Muskels bzw. Pausendauer müssen berücksichtigt werden. Chronische Supramaximalstimulationen können aufgrund der vorliegenden Ergebnisse (Erholungszeit des Muskels) nur als schädlich in jeder Hinsicht abgetan werden.

7.1.4.3. Angaben über Stromart, Impulsform, Frequenz, Dauer des einzelnen Stimulus, Stromstärke und Elektrodenart müssen genauestens erfolgen.

7.1.5. Neue Vorschläge:

Unter Berücksichtigung aller oben genannter Parameter sollte nochmals nachgeprüft werden:

1. Der Einfluß der Elektrotherapie auf die Reinnervation.
2. Günstigste Kontraktionsart und Dauer.
3. Der Einfluß einer abwechselnd isotonischen und isometrischen Kontraktion.
4. Eine nähere Erforschung der konditionierenden Läsion nach Nervenverletzung und Elektrotherapie wäre interessant. Bisher ist nur geklärt, daß eine konditionierende Verletzung (Quetschung) 14 Tage vor der eigentlichen Nervendurchschneidung einen günstigen Einfluß hat.
5. Ein Aufklärungsversuch, warum an Extensoren bessere Ergebnisse als an Flexoren erreicht werden, müßte angestrebt werden. Möglicherweise kann diese Erklärung in der Methode gefunden werden.

7.2. Klinische:

Bei den klinischen Studien könnte in Zukunft eine elektromyographische Überwachung der Therapie interessante Aspekte aufzeigen. Jugendliche und Erwachsene müßten streng getrennt werden, Zuteilungen zur Erwachsenenengruppe sollten erst ab 20 Lebensjahren erfolgen. Auch hinsichtlich der Denervationsart und Denervationshöhe müßte trotz auftretender Schwierigkeiten eine Gruppenzuteilung erfolgen. Diese Schwierigkeiten zu umgehen, müßte die Zusammenarbeit vieler Kliniken angestrebt werden, um ein großes Patientengut zu erhalten. Meßmethoden wie Volumen- oder Flächenabdrücke sind als zu ungenau abzulehnen. Die unter 7.1.5. vorgeschlagenen Studien sollten, soweit möglich, auch auf den klinischen Bereich ausgedehnt werden.

Zusammenfassung:

Hinsichtlich der Reinnervationsbeeinflussung durch Elektrostimulation kann keine Aussage gemacht werden. Art des Muskels, Muskelgröße, Durchtrennungsart- und -höhe des Nerven spielen eine maßgebliche Rolle. Mit einer Reinnervation kann bis zu zwei Jahren nach Denervation gerechnet werden, daher sollte die E-Therapie bis dahin durchgeführt werden. Muskelgröße, -tiefe und -art spielen eine Rolle hinsichtlich der Atrophieverzögerung durch Elektrostimulation. Kleine oberflächliche Muskeln (z. B. Hand) scheinen besser erhalten werden zu können, als große oder tiefliegende. Ein schädlicher Effekt durch Elektrostimulation wurde nur bei Tierexperimenten durch übertriebene Anwendung erreicht, die beim Menschen wegen vieler Ursachen nicht möglich ist (z. B. Schmerzgrenze). Viele Autoren machen nur mangelhafte Angaben zum Versuch, beziehungsweise über aufgetretene Schwierigkeiten, sodaß manches Ergebnis zweifelhaft erscheint. Die meisten klinisch geltenden Postulate basieren auf rein tierexperimentellen Ergebnissen und wurden in der Klinik bisher nicht bewiesen. Viele Tierexperimente stellten keine wissenschaftliche Bereicherung dar, da sie z. T. sinnlose Ergebnisse aufgrund undurchdachter Versuchsanordnung ergaben.

Literaturverzeichnis

- 1) K. Schinrigk, e.a., 1977, Scand. J. Rehab. Med. 55-60
" The effect of electr. stimulation on the experimentally denervated rat muscle "
- 2) R.H. Westgaard, 1975, J. Phys. 251, 683 ff
" Influence of Activity on the Passive Elektrical Properties of Denervated Soleus Muscle Fibres in the Rat "
- 3) Drachmann, Witzke, 1972 5. Mai, Science Vol. 176, 514 ff
" Trophic regulation of ACh-Sensitivity of muscle: effect of electrical stimulation "
- 4) Lømo, Westgaard, 1975, J. Phys. 252, 603 ff
" Further Studies on the Control of ACh-Sensitivity by Muscle Activity in the Rat "
- 5) Stillwell e.a., 1962, Arch. Phys. a. Rehab., März 1962, Vol. 43, 95 ff
" Effect of varying interval between sessions of electric stimulation of denervated rat muscle "
- 6) Wehrmacher, Thomson e.a., 1945, Arch. Phys. Med. 26, 261 ff
" Effects of electr. stimulation on denervated skeletal muscle "
- 7) Kosmann, Osborne, Arch. Phys. Med. 28, Jan. 1947, 7,
"The comparative effectiveness of various electrical stimulation of paralyzed muscle"
- 8) Kosmann, Osborne, 1947, Arch. Phys. Med. Jan. 1947, 12,
" The influence of duration and frequency of treatment in electrical stimulation of paralyzed muscle "
- 9) Lømo, Rosenthal, 1972, J. Physiol. 221, 493-513,
" Control of ACh-Sensitivity by muscle activity in the rat "

- 10) K.G. Wakim, F.H. Krusen, 1955, Arch. Phys. Med. a.Rehab. 36, Juni 1955, 370 ff
 " The influence of electrical stimulation on the work output and endurance of denervated muscle"
- 11) J.D. Thomson, 1957, Am. J. Phys. Med. 36, 16-20,
 " Effect of electrotherapy on some mechanical properties of denervated muscle"
- 12) A.Seuille, M. Bondoux-Jahan, 1980, Brain Res. 193,562 ff
 " Effects of electric stimulation and previous nerve injury on motor function recovery in rats"
- 13) Lømo, Slater, 1978, J. Physiol. 275, 391 ff
 " Control of ACh-Sensitivity and synapse formation by muscle activity"
- 14) R. Jones, G. Vrbova, 1971, Phys. Soc, Mai 1971, 67-68 (?)
- 15) J. Melichna, E. Gutmann, 1974, Pflügers. Arch. 352, 165 ff
 "Stimulation and Immobilisation Effects on Contractile and Histochemical Properties of denervated muscle"
- 16) Hines, Knowlton, 1939, Am.J.Physiol. 128, 97 ff,
 " The effect of various conditions upon the rate of atrophy in denervated muscle"
- 17) Herbison, Chao-Son-Teng, 1971, Arch. Phys. Med. Rehab. 52, Nov. 1971, 516 ff
 " Effect of electrical stimulation on denervated muscle of rat"
- 18) Knowlton, Hines, 1939, Am. J. Physiol. 128, 521 ff,
 " The effects of growth and atrophy upon the strength of skeletal muscle"
- 19) McQuarrie, 1978, Brain Res. 152, 597-602
 " The effect of a conditioning lesion on the regeneration of motor axons"

- 20) Jansen, Lómo, 1973, *Science* Vol. 181, 559 ff
 "Hyperinnervation of skeletal muscle fibres: dependence on muscle activity"
- 21) Hertison, Teng e.a., 1973, *Arch. Phys.Med.Rehab.* Vol. 54, 156 ff
 "Elektrical Stimulation of reinnervation rat muscle"
- 22) Blümke u. Knoche, 1962, *Dr.Zeitschrift f. Nervenhe.* Nr. 183,383 ff
 "Einfluß elektr. Reizung auf die Regeneration perif. Nerven"
- 23) E. Gutmann, L. Guttmann, 1942, *Lancet* 1, 169-170
 "Effect of electrotherapy on denervated muscles in rabbits"
- 24) E. Gutmann, L. Guttmann, 1944, *J. of Neurol.N.-surgery and Psych.* 7/7-17
 "The effect of galvanic exercise on denervated and reinnervated muscles in the rabbit"
- 25) Steinberger, Smith, 1968, *Arch.Phys.Med.a. Rehab.* Okt.1968, Nr.49,573 ff
 "Maintenance of denervated rabbit muscle with direct electrostimulation"
- 26) Frank Martin, 1980, *Habilitationsschrift LMU-München*,
 "Die E.-Stimulation der denervierten Kehlkopfmuskulatur im Tier-experiment"
- 27) Nix, Seidenfaden, 1980, *Fortschritte der Myologie* Bd.4, 185-191
 "Zur Wirkung niederfrequenter isotonischer E.-Stim. auf den denervierten M. EDL des Kaninchens"
- 28) Schröder, Nix, 1980 siehe 27), 192-198
 "Histochemische Muskelfasertypen nach direkter u. indirekter Reizung"
- 29) Gutmann, Young, 1944, *J.Anat.* 78, 15 ff
 "The reinnervation of muscle after various periods of atrophy"
- 30) J.N. Langley, 1916, *J.Phys.* 50, 335-344
 "Observations on denervated muscle"

- 31) Hartmann, Blatz, 1919, J.Physiol. 53, 290 ff
 " Studies in the regeneration of denervated mammalian muscle III: effects of massage and electrical treatment "
- 32) E. Dech, 1970, Inauguraldissertation, Zürich 1970
 " Histolog. u. planimetr. Unters. denervierter Muskeln nach E.-Therapie "
- 33) Pflüglers Arch. 361, 1975, 1-7 aus "Europ.J.of Phys."
 " Influence of intermittent long-term Stim. on contractile, histochem. a. metabolic properties of fibre populations in fast and slow rabbit muscles "
- 34) D. Pette e.a. , 1972, Sonderdruck: Die Naturwissenschaften 59.Jahrgang, 1972, Heft 8, 469-470
 " Physiological and biochemical changes induced by long-term-Stimulation of fast muscle "
- 35) P. Nemeth, Meyer, 1980, J.of.Neurochem. 35, 1351-1360
 " Effects of denervation and simple disuse on rates of oxidation and on 4 mitochondr. enzymes in type-1-muscle "
- 36) P.Nemeth, 1982, Muscle a.N. 5, 134-139
 " Electrical stim. of denerv. muscle prevents decreases in oxidat.enzymes "
- 37) Ungerer, Kark, 1977, Neurology April 1977, 357
 " Nerve-muscle contact a. the trophic maintenance of muscle oxidation "
- 38) J.Sherman, 1948, J.of Bone a.J.Surgery, 30 A, 474-488
 " Contractures following experimentally produced periph nerve lesions "
- 39) Riley, Allin, 1973, Exp. Neurol.40, 391-413
 " The effects of inactivity, programmed stimulation a. denervation on the histochem. of skeletal muscle fibre types "

- 40) J. Eccles, 1944, J.Phys. 103, 253-266
" Investigations on muscle atrophies arising from disuse and tenotomy"
- 41) A.D. Lux, P.Schubert e.a., 1970, Exp. Brain Res. 10, 197-204
" Excitation a. axonal flow: autoradiographic study on motoneurons intracellularly injected with H^3 -amino-acid"
- 42) Pollock, Arieff, 1950, Arch. Phys. Med. 31, 265-276
" The effect of massage and passive movement upon the residuals of experim. produced section of the sciatic nerves of cat"
- 43) R. Ironton, M.C.Brown e.a. 1978, Brain Res. 156, 351-354
" Stimuli to intramuscular nerve growth"
- 44) Mc Quarrie, 1979, Brain Res. 167, 185-188
" Accelerated axonal sprouting after nerve transection"
- 45) Luthert, Vrbova e.a., 1979, J. Physiol. 291, 31 ff
" Functional improvement of skeletal muscles of dystrophic mice following electr.stim."
- 46) D. Pette, Schnez e.a. Pflügers Arch. 1977
" Coexistence of fast and slow type myosin light chains in single muscle fibres during transtorenation as induced by long term stimulation"
- 47) Clinton, Knowlton e.ä. , 1936, Proc.Soc.Exp. Br. Med. 35, 394 ff
" Kinetics of muscle atrophy in different species"
- 48) Pollock, Arieff e.a., 1951, Arch. Ph.Med. 32, 377 ff
" E.-therapie bei experimentellen peripheren Nervenläsionen"
- 49) Hoffmann, Wertheimer, 1927, Pflügers Arch. ges. Phys. 216, 337 ff
" Glycogenansatz beim künstlich gereizten, entnervten Muskel"

- 50) H.Chor, D.Cleveland e.a. , 1939, J.A.M.A., 9.Sept. 1939, 340-343
" Atrophie und Regeneration des M. gastrocnemius am Affen "
- 51) J.L. Echternach, 1964, Phys. Ther. 434, 26-27
" Electrophysiological bracing in radial nerve compression injury, case report "
- 52) Sh. Jackson, 1945, Brain 68, 300-330
" The role of galvanism in the treatment of den. vol. M.in man "
- 53) N. Rosselle e.a. , 1977, Elektromyogr. clin. Neurophys. 17, 179-186
"Electromyographic evaluation of therapeutic methods in complete peripheral paralysis"
- 54) N. Rosselle, L.Schellens e.a., 1974, Elektromyogr. clin. Neurophys. 14, 349 ff
" siehe "53"-Titel "
- 55) A. Miehke, 1973, Surgery of the Facial Nerve, U.u. Schwarzenberg 1973, S 209 ff
" The postoperative treatment of periferall facial palsy "
- 56) J.Bateman, 1947, J. Bone a. Joint Surg. 29, 241 ff
" A miniature galvanic stimulator "
- 57) Bowden, Gutmann, 1944, Brain 67, 273 ff
" Denervation and reinnervation of human voluntary muscle "
- 58) J. Doupe, R. Barnes e.a., 1943, J. Neurol. a. Psych. 6, 136-140
" The effect of electrical stimulation on circulation and recovery of denervated muscle "
- 59) Liu, Lewey, 1947, J.of Nerv. a. M.Dis. 105, Nr. 6, 571-581
" The effect of surging currents of low frequency in man on atrophy of denerved muscles "

- 60) W. Pia, K. Kunze, A. Miehke, H. Mittelmeier, H. Penzholz, K.H. Puff, J. Rehn, M. Samii, A. Struppler, K.-A.-Jochheim, 1978, 26. Januar, Dt. Ärzteblatt 75. Jahrgang, Heft 10, 565 ff
" Versorgung von Nervenverletzungen "
- 61) S. Sunderland, 1950, Arch. Neur. u. Psych. Nr. 64, 755 ff
" Capacity of reinnervated muscles to function efficiently after prolonged denervation "
- 62) D. Taverner, 1965, Arch. Otolaryng. Vol. 81, 489 ff
" Treatment of facial palsy "
- 63) D. Taverner, 1959, Proc. Roy. Soc. of Med. 52, 1077 ff
" Prognosis and treatment of spontaneous facial palsy "
- 64) R. Merletti, P. Pinelli, 1980, Euro. Neurol. 19, 30-32
" A critical appraisal of neuromuscular stimulation and e.-therapy in neurorehabilitation "
- 65) Edinger, Laquer e.a., 1891, Skriptum der Elektrotherapeutenversammlung zu Frankfurt im Sept. 1891
- 66) S. Sunderland, 1978, Nerves u. Injuries 2. ed., p 305-310, Livingstone, Edinburgh 1978
- 67) P. Pinelli, 1978, Riv. Pat. Nerv. Ment. 99, 87-96
" Workshop on the electrotherapy of denervated muscle "
- 68) E. Gutmann, 1958, Die funktionelle Regeneration des periph. Nerven, Akademieverlag Berlin
- 69) E. Senn, 1977, Zeitung f. Unfallmed. u. Berufskrh. 21-41
" Wirkungsweise der Niederfrequenztherapie ", Referat.
- 70) E. Kaeser, 1969, Praxis Nr. 58, 14, 438 ff
" Zur Frage der E.-Therapie bei peripheren Lähmungen "

- 71) E. Gutmann, 1968, *Ärztliche Forschung* Jg. 23, Heft 2, 33-44
" Denervations- u. Inaktivitätsatrophie der Skelettmuskulatur"
- 72) E. Senn, 1977, *Zeitschrift f. angew. Bäder u. Klimaheilkunde* 24, 264 ff
" Trophische Störungen im Bereich des Bewegungsapparates, insbesondere der Muskulatur"
- 73) E. Gutmann, *J. of Anatomy* 79, 1944, 1 u. 7
" The reinnervation of muscle by sensory nerve fibers"
- 74) Duensing, 1942, *Der Nervenarzt*, 15, Dez. 1942
" Die Reizung mit anschwellendem galvan. Strom, ein wertvolles Hilfsmittel für elektr. Unters. u. Behandlung periph. Lähmungen"
- 75) F. Offner, 1946, *J. Neurophys.* 9, 387 ff.
" Stimulation with minimum power"
- 76) Schaldach, 1973, *Biomed. Technik* Bd. 18
" Technische Aspekte der Elektrostimulation"
- 77) Eichhorn, "Reizstromtherapie bei schlaffen Lähmungen",
Manuskript für die 2. Arbeitssitzung über E.-Stim. denervierter M. am 8.5.82 in München
- 78) Hartmann, Blatz e.a., 1919, *J. Ph.* 53, 108 ff
" Stud. in the regen. of denervated mammalian muscle: effect of massage"
- 79) Langley, Hashimoto, 1918, *J. Physiol.* 52, 15-69
" Observations on the atrophy of denervated muscle"
- 80) J. Bohl, Th. Wallenfang e.a., 1980, *Fortschritte der Myologie* Bd. IV, 5. Symposium des wissenschaftl. Beirates im Juni 1980 in Mainz
" Kapselveränderungen am experimentell denervierten Muskelspindeln"

- 81) Hartmann, Blatz, 1919, J. Physiol. 53, 92 ff
" Studies in the regeneration of denerv. mammalian muscle:
Volume changes and temperature changes"
- 82) Girlanda, R. Dattola e.al., 1982, Experimentl.Neurol. 77, 483-491
" Effect of electrotherapy on denervated muscles in rabbits: an
electrophysiological and morph. study"
- 83) Nix, W.A. , 1982, Acta neurol. scand. 66, 521-528
" The effect of low frequency electr. stim. on the denervated
EDL-m.of the rabbit"
- 84) H.H. Stonnington, Engel, A.G., 1973, Neurology Vol. 23, 714 ff
" Normal and denervated muscle"
- 85) Steward, D.M., Am. J. of Phys. 10. April 1967
" Effect of age on the response of four muscles of the rat to
denervation"
- 86) H.T. Sakellarides, M.D. Sorbie, Clinical Orthopedics a. Related
Research, März 1972, Nr. 83
" Reinnervation of denervated muscle by n.-transplantation"
- 87) Smith M., W.W. Steinberger, Okt.1968, Arch.Phys.Med. a. Rehab.,566 ff
" Effect of stimulus parameter variation on recruitment in
denervated rabbit muscle"
- 88) B.Niederle, R. Mayr, 1978, Anat. Embryol. 153, 9-21
" Course of denervation atrophy in typ 1 a. typ 2 fibres of rat EDL-m."
- 89) Herbison G.J. , M. Jaweed e.al., May 1983, Arch. Phys. Med. Rehab.
Vol. 64
" ACh-Sensitivity and fibrillation potentials in electr. stim.
crush denervated rat sceletal muscle"
- 90) E.Gutmann, Delay of Innervation 26. Sept. 1947
" Effect of delay of innervation on recovery of muscle after nerve lesions"

- 91) Grodins, S.L. Osborne e.al., 15.May 1944, Am. J.Phys.142, 216-221
" The effect of appropriate electr. stim. on atrophy of denervated
skeletal m. in the rat"
- 92) Grodins, Osborne, e.al., s.o., Seiten 222-230
" Stim. of denervated skeletal muscle with alternating current"
- 93) E. Fischer, 1939, Am. J. of Phys., Vol. 127, Nov. 1939, 603-619
" The effect of faradic and galvanic stimulation upon the course
of atrophy in denervated skeletal muscle"
- 94) Doris M. Stewart, Am. J. of Phys. 10. Apr. 1967
" Effect of age on the response on four muscles of the rat to
denervation"
- 95) R.Jones, Pflüger's Arch. 391, 1981, 68-73
" The influence of electr. activity on the development of newborn
innervated rat muscle"
- 96) R.C. Martin, M.D. Peripheral Injuries of the Facial Nerve,
San Francisco pp 755-757
" Repair of peripheral inj. of the facial nerve"
- 97) M.A. Johnson, J. Polgar e.al., J. of the neurol. Sciences 18,1973,
111-129, Amsterdam
" Data on the distribution of fibre types in thirtysix human muscles,
an autopsy study"
- 98) S.D. Bankov, Bulgarien 1981, Z. Physiotherapie Jg. 33, Leipzig, 391-400
" Elektromyographische Beurteilung der Kontraktion von denervierten
Muskeln bei Stimulation mit rechteckigen u. exp. elektr. Impulsen"
- 99) C. Mucha, Behr, Zysno, Z. Phys. Med. Baln.Klim. 12, 1983, 307-322
" Klinische Untersuchungen zur Effizienz der Kombinationstherapie mit
Elektrotherapieverfahren bei der Übungsbehandlung der Peronäusparesse"

- 100) B.R. Pachter, Eberstein e.al., Arch.Phys.Med.Rehab.Vol.63,1982,
427 - 430
"Electrical stim. effect on den. skeletal myofibers in rate:
a light and electron microscopic study"
- 101) C.O. Molander, F.S. Steinitz, Arch. Phys.Therapy 22, 1941, 154-160
"Effect of the galvanic current on paralyzed muscle"
- 102) P. Kumar, C.L. Talesara, Indian J. of Exp.Biol.Vol 15, 1977, 45-51
"Influence of age upon the onset and rate of progression of
denerv. atrophy in skeletal muscle: relative neuronal (trophic) .
independence upon fibertype maturation"
- 103) R.Jones, G. Vybor, J. Physiol. 236, 1974, pp 517-538
"Two factors responsible for the development of denervation
hypersensitivity"
- 104) D.Kosaror, A.Gydkor, Elektromyogr. clin.Neurophysiol.15,1975, 319-335
"The influence of the volume conduction on the shape of the action
potentials recorded by various types of needle electrodes in normal
human muscle"
- 105) E.C.S. Jackson, J. Seddon, Brit.Med.Journal, Okt.13, 1945,485-486
"Influence of galvanic stimulation on muscle atrophy resulting
from denervation"
- 106) H.Edel, Zschr. ärztl. Fortbildung 61 Jg.,
H.17, 852-858
"Klinische Elektrodiagnostik des peripheren Nervensystems unter be-
sonderer Berücksichtigung der Reizstromdiagnostik"
- 107) W.M. Landan, EEG Clin. Neurophys.3, 1951, 169-182
"Synchronisation of potentials and response to direct current
stimulation in denervated mammalian muscle"

108) Kosmann, Osborne, Ivy, *Am.J.of Phys.* Vol 145, Feb. 1946, Nr.4,
447 - 451

" The effect of electr. stimulation upon the course of atrophy
and recovery of the gastrocnemius of the rat "

Literaturverzeichnis

- 98) S.D. Bankov, Bulgarien 1981, Z. Physiotherapie Jg. 33, Leipzig, 391-400
"Elektromyographische Beurteilung der Kontraktion von denervierten Muskeln bei Stimulation mit rechteckigen u. exp. elektr. Impulsen"
- 56) J. Bateman, 1947, J.Bone a. Joint Surg. 29, 241 ff
"A miniature galvanic stimulator"
- 22) Blümke u. Knoche, 1962, Dr. Zeitschrift f. Nervenhe. Nr. 183, 383 ff
"Einfluß elektr. Reizung auf die Regeneration periph. Nerven"
- 80) J.Bohl, Th. Wallenfang e.a., 1980, Fortschritte der Myologie Bd.IV, 5. Symposium des wissenschaft. Beirates im Juni 1980 in Mainz
"Kapselveränderungen an experimentell denervierten Muskelspindeln"
- 57) Bowden, Gutmann, 1944, Brain 67, 273 ff
"Denervation und reinnervation of human voluntary muscle"
- 50) H. Chlor, D.Cleveland e.a., 1939, J.A.M.A., 9.Sept.1939, 340-343
"Atrophie und Regeneration des M. gastrocnemius am Affen"
- 47) Clinton, Knowlton e.a., 1936, Proc.Soc.Exp. Br.Med. 35, 394 ff
"Kinetics of muscle atrophy in different species"
- 32) E. Dech, 1970, Inauguraldissertation, Zürich 1970
"Histolog. u. planimetr. Unters. denervierter Muskeln nach E.-Therapie"
- 58) J. Doupe, R. Barnes e.a., 1943, J. Neurol. a. Psych. 6, 136-140
"The effect of electrical stimulation on circulation and recovery of denervated muscle"

- 3) Drachmann, Witzke, 1972 5. Mai, Science Vol. 176, 514 ff
"Trophic regulation of ACh-Sensitivity of muscle: effect of electrical stimulation"
- 74) Duensing, 1942, der Nervenarzt, 15, Dez. 1942
"Die Reizung mit anschwellendem galvan. Strom, ein wertvolles Hilfsmittel für elektr. Unters. u. Behandlung periph. Lähmungen"
- 40) J. Eccles, 1944, J. Phys. 103, 253-266
"Investigations on muscle atrophies arising from disuse and tenotomy"
- 51) J.L. Echternach, 1964, Phys. Ther. 434, 26-27
"Electrophysiological bracing in radial nerve compression injury, case report"
- 106) H. Edel, Zschr.ärztl. Fortbildung 61 Jg., H.17, 852-858
"Klinische Elektrodiagnostik des peripheren Nervensystems unter besonderer Berücksichtigung der Reizstromdiagnostik"
- 65) Edinger, Laquer e.a., 1891, Skriptum der Elektrotherapeutenversammlung zu Frankfurt im Sept. 1891
- 77) Eichhorn, "Reizstromtherapie bei schlaffen Lähmungen",
Manuskript für die 2. Arbeitssitzung über E.-Stim. denervierter M. am 8.5.82 in München
- 93) E. Fischer, 1939, Am. J. of Phys., Vol. 127, Nov. 1939, 603-619
"The effect of faradic and galvanic stimulation upon the course of atrophy in denervated skeletal muscle"
- 26) Frank Martin, 1980, Habilitationsschrift LMU-München
"Die E.-Stimulation der denervierten Kehlkopfmuskulatur im Tierexperiment"
- 82) Girlanda, R.Dattola e.al., 1982, Experimentl. Neurol. 77, 483-491
"Effect of electrotherapy on denervated muscles in rabbits: an electrophysiological and morph. study"

- 91) Grodins, S.L. Osborne e.al., 15.May 1944, Am. J.Phys. 142, 216-221
"The effect of appropriate electr. stim. on atrophy of denervated
skeletal m. in the rat"
- 92) Grodins, Osborne, e.al., s.o., Seiten 222-230
"Stim. of denervated skeletal muscle with alterhating current"
- 29) Gutmann, Young, 1944, J.Anat. 78, 15 ff
"The reinnervation of muscle after various periods of atrophy"
- 23) E.Gutmann, L. Guttman, 1942, Lancet 1, 169-170
"Effect of electrotherapy on denervated muscles in rabbits"
- 24) E.Gutmann, L. Guttman, 1944, J. of Neurol.N.-surgery and Psych.7/7-17
"The effect of galvanic exercise on denervated and reinnervated
muscles in the rabbit"
- 68) E.Gutmann, 1958, Die funktionelle Regeneration des periph. Nerven,
Akademieverlag Berlin
- 71) E. Gutmann, 1968, Ärztliche Forschung Jg. 23, Heft 2, 33-44
"Denervations- u. Inaktivitätsatrophie der Skelettmuskulatur"
- 73) E. Gutmann, J. of Anatomy 79, 1944, 1 u.7
"The reinnervation of muscle by sensory nerve fibers"
- 90) E.Gutmann, Delay of Innervation 26. Sept. 1947
"Effect of delay of innervation on recovery of muscle after
nerve lesions"
- 31) Hartmann, Blatz, 1919, J.Physiol. 53, 290 ff
"Studies in the regeneration of denervated mammalian muscle III:
effects of massage and electrical treatment"
- 78) Hartmann, Blatz e.a., 1919, J. Ph. 53, 108 ff
"Stud. in the regen. of denervated mammalian muscle: effect of massage"

- 81) Hartmann, Blatz, 1919, J. Physiol. 53, 92 ff
"Studies in the regeneration of denerv. mammalian muscle:
Volume changes and temperature changes"
- 17) Herbison, Chao-Son-Teng, 1971, Arch. Phys. Med. Rehab. 52, Nov. 1971,
516 ff
"Effect of electrical stimulation on denervated muscle of rat"
- 89) Herbison G.J., M.Jaweed e. al., May 1983, Arch. Phys. Med.Rehab.
Vol. 64
"ACh-Sensitivity and fibrillation potentials in electr. stim.
crush denervated rat sceletal muscle"
- 21) Hertison, Teng e.a., 1973, Arch. Phys. Med. Rehab. Vol. 54, 156 ff
"Electrical Stimulation of reinnervation rat muscle"
- 16) Hines, Knowlton, 1939, Am.J. Physiol. 128, 97 ff
"The effect of various conditions upon the rate of atrophy in
denervated muscle"
- 49) Hoffmann, Wertheimer, 1927, Pflügers Arch. ges.Phys. 216, 337 ff
"Glycogenansatz beim künstlich gereizten, entnervten Muskel"
- 43) R. Ironton, M.C. Brown e.a., 1978, Brain Res. 156, 351-354
"Stimuli to intramuscular nerve growth"
- 105) E.C.S. Jackson, J. Seddon, Brit. Med.Journal, Okt.13, 1945, 485-486
"Influence of galvanic stimulation on muscle atrophy resulting
from denervation"
- 52) Sh. Jackson, 1945, Brain 68, 300-330
"The role of galvanism in the treatment of den. vol. M. in man"
- 20) Jansen, Lømo, 1973, Science Vol. 181, 559 ff
"Hyperinnervation of sceletal muscle fibres: dependence on muscle
activity"

- 97) M.A. Johnson, J. Polgar e.al., J. of the neurol. Sciences 18, 1973, 111-129, Amsterdam
"Data on the distribution of fibre types in thirtysix human muscles, an autopsy study"
- 14) R. Jones, G. Vrbova, 1971, Phys. Soc., Mai 1971, 67-68 (?)
- 95) R. Jones, Pflüger's Arch. 391, 1981, 68-73
"The influence of electr. activity on the development of newborn innervated rat muscle"
- 103) R. Jones, G. Vrbova, J. Physiol. 236, 1974, pp 517-538
"The factors responsible for the development of denervation hypersensitivity"
- 70) E. Kaeser, 1969, Praxis Nr. 58, 14, 438 ff
"Zur Frage der E.-Therapie bei peripheren Lähmungen"
- 18) Knowlton, Hines, 1939, Am. J. Physiol. 128, 521 ff
"The effects of growth and atrophy upon the strength of skeletal muscle"
- 104) D. Kosarov, A. Gydikor, Elektromyogr. clin. Neurophysiol. 15, 1975, 319-335
"The influence of the volume conduction on the shape of the action potentials recorded by various types of needle electrodes in normal human muscle"
- 7) Kosman, Osborne, Arch. Phys. Med. 28, Jan. 1947, 7
"The comparative effectiveness of various electrical stimulation of paralyzed muscle"
- 8) Kosman, Osborne, 1947, Arch. Phys. Med. Jan. 1947, 12
"The influence of duration and frequency of treatment in electrical stimulation of paralyzed muscle"

- 108) Kosman, Osborne, Ivy, Am.J.of Phys. Vol 145, Feb. 1946, Nr. 4, 447-451
"The effect of electr. stimulation upon the course of atrophy and recovery of the gastrocnemius of the rat"
- 102) P. Kumar, C.L. Talesara, Indian J. of Exp.Biol.Vol 15, 1977, 45-51
"Influence of age upon the onset and rate of progression of denerv. atrophy in sceletal muscle: relative neuronal (trophic) independence upon fibertype maturation"
- 107) W.M. Landan, EEG Clin. Neurophys. 3, 1951, 169-182
"Synchronisation of potentials and response to direct current stimulation in denervated mammalian muscle"
- 30) J.N. Langley, 1916, J.Phys. 50, 335-344
"Observation on denervated muscle"
- 79) Langley, Hashimoto, 1918, J. Physiol. 52, 15-69
"Observations on the atrophy of denervated muscle"
- 59) Liu, Lewey, 1947, J.of Nerv. a. M.Dis. 105, Nr. 6, 571-581
"The effect of surging currents of low frequency in man on atrophy of denerved muscles"
- 4) Lømo, Westgaard, 1975, J. Phys. 252, 603 ff
"Further Studies on the Control of ACh-Sensitivity by Muscle Activitiy in the Rat"
- 9) Lømo, Rosenthal, 1972, J. Physiol. 221, 493-513
"Control of ACh-Sensitivity by muscle activity in the rat"
- 13) Lømo, Slater, 1978, J. Physiol. 275, 391 ff
"Control of ACh-Sensitivity and synapse formation by muscle activity"

- 45) Luthert, Vrbova e.a., 1979, J. Physiol. 291, 31 ff
"Functional improvement of skeletal muscles of dystrophic mice following electr. stim."
- 41) A.D. Lux, P. Schubert e.a., 1970, Exp. Brain Res. 10, 197-204
"Excitation a. axonal flow: autoradiographic study on motoneurons intracellularly injected with H^3 -amino-acid"
- 96) R.C. Martin, M.D. Peripheral Injuries of the Facial Nerve, San Francisco pp 755-757
"Repair of peripheral inj. of the facial nerve"
- 15) J. Melichna, E. Gutmann, 1974, Pflügers Arch. 352, 165 ff
"Stimulation and Immobilisation Effects on Contractile and Histochemical Properties of denervated muscle"
- 64) R. Merletti, P. Pinelli, 1980, Euro. Neurol. 19, 30-32
"A critical appraisal of neuromuscular stimulation and e.-therapy in neurorehabilitation"
- 55) A. Miehke, 1973, Surgery of the Facial Nerve, Urban u. Schwarzenberg, 1973, S 209 ff
"The postoperative treatment of peripheral facial palsy"
- 101) C.O. Molander, F.S. Steinitz, Arch. Phys. Therapy 22, 1941, 154-160
"Effect of the galvanic current on paralyzed muscle"
- 19) McQuarrie, 1978, Brain Res. 152, 597-602
"The effect of a conditioning lesion on the regeneration of motor axons"
- 44) McQuarrie, 1979, Brain Res. 167, 185-188
"Accelerated axonal sprouting after nerve transection"

- 99) C. Mucha, Behr, Zysno, Z. Phys. Med.Baln.Klim. 12, 1983, 307-322
"Klinische Untersuchungen zur Effizienz der Kombinationstherapie mit Elektrotherapieverfahren bei der Übungsbehandlung der Peronäusparesen"
- 35) P. Nemeth, Meyer, 1980, J. of. Neurochem. 35, 1351-1360
"Effects of denervation and simple disuse on rates of oxidation and on 4 mitochondr. enzymes in type-1-muscle"
- 36) P. Nemeth, 1982, Muscle a.N. 5, 134-139
"Electrical stim. of denerv. muscle prevents decreases in oxidat. enzymes"
- 88) B. Niederle, R. Mayr, 1978, Anat. Embryol. 153, 9-21
"Course of denervation atrophy in typ 1 a. typ 2 fibres of rat EDL-m."
- 27) Nix, Seidenfaden, 1980, Fortschritte der Myologie Bd.4, 185-191
"Zur Wirkung niederfrequenter isotonomischer E.-Stim. auf den denervierten M. EDL des Kaninchens"
- 83) Nix, W.A., 1982, Acta neurol. scand. 66, 521-528
"The effect of low frequency electr. stim. on the denervated EDL-m. of the rabbit"
- 75) F. Offner, 1946, J. Neurophys. 9, 387 ff
"Stimulation with minimum power"
- 100) B.R. Pachter, Eberstein e.al., Arch. Phys. Med.Rehab. Vol. 63, 1982, 427-430
"Electrical stim. effect on den. skeletal myofibers in rate: a light and electron microscopic study"
- 34) D. Pette e.a., 1972, Sonderdruck: Die Naturwissenschaften 59. Jahrgang, 1972, Heft 8, 469-470
"Physiological and biochemical changes induced by long-term-Stimulation of fast muscle"

- 46) D. Pette, Schnez e.a. Pflügers Arch. 1977
"Coexistence of fast and slow type myosin light chains in single muscle fibres during transtorenation as induced by long term stimulation"
- 33) Pflügers Arch. 361, 1975, 1-7 aus "Europ. J.of Phys."
"Influence of intermittent long-term Stim. on contractile, histochem. a. metabolic propertics of fibre populations in fast and slow rabbit muscles"
- 60) W. Pia, K. Kunze, A. Miehke, H. Mittelmeier, H. Penzholz, K.H. Puff, J.Rehn, M. Samil, A. Struppler, K.-A.-Jochheim, 1978, 26.Januar, Dt. Ärzteblatt 75. Jahrgang, Heft 10, 565 ff
"Versorgung von Nervenverletzungen"
- 67) P. Pinelli, 1978, Riv. Pat. Nerv. Ment. 99, 87-96
"Workshop on the electrotherapy of denervated muscle"
- 42) Pollock, Arieff, 1950, Arch. Phys. Med. 31, 265-276
"The effect of massage and passive movement upon the residuals of experim. produced section of the sciatic nerves of cat"
- 48) Pollock, Arieff e.a., 1951, Arch. Ph.Med. 32, 317 ff
"E.-therapie bei experimentellen peripheren Nervenläsionen"
- 39) Riley, Allin, 1973, Exp. Neurol. 40, 391-413
"The effects of inactivity, programmed stimulation a. denervation on the histochem. of sceletal muscle fibre types"
- 53) N. Rosselle e.a., 1977, Elektromyogr. clin. Neurophys.17, 179-186
"Electromyographic evaluation of therapeutic methods in complete peripheral paralysis"
- 54) N. Rosselle, L.Schellens e.a., 1974, Elektromyogr.clin.Neurophys.14, 349 ff
"siehe "53"-Titel"

- 86) H.T. Sakellarides, M.D. Sorbie, *Clinical Orthopedics a. Related Research*, März 1972, Nr. 83
"Reinnervation of denervated muscle by n.-transplantation"
- 12) A. Sebille, M. Bondoux-Jahan, 1980, *Brain Res.* 193, 562 ff
"Effects of electric stimulation and previous nerve injury on motor function recovery in rats"
- 69) E.Senn, 1977, *Zeitschrift f. Unfallmed. u. Berufskrh.* 21-41
"Wirkungsweise der Niederfrequenztherapie", Referat.
- 72) E. Senn, 1977, *Zeitschrift f. angew. Bäder u. Klimaheilkunde* 24,264 ff
"Trophische Störungen im Bereich des Bewegungsapparates, insbesondere der Muskulatur"
- 38) J. Sherman, 1948, *J.of Bone a.J. Surgery*, 3o A, 474-488
"Contractures following experimentally produced periph. nerve lesions"
- 87) Smith M., W.W. Steinberger, Okt.1968, *Arch.Phys.Med. a. Rehab.*,566 ff
"Effect of stimulus parameter variation on recruitment in denervated rabbit muscle"
- 61) S. Sunderland, 1950, *Arch. Neur. a. Psych.* Nr. 64, 755 ff
"Capacity of reinnervated muscles to function efficiently after prolonged denervation"
- 66) S. Sunderland, 1978, *Nerves a. Injuries* 2. ed., p 305-310, Livingstone, Edinburgh 1978
- 76) Schaldach, 1973, *Biomed. Technik* Bd. 18
"Technische Aspekte der Elektrostimulation"
- 1) K. Schimrigk, e.a., 1977, *Scand, J. Rehab. Med.* 55-60
"The effect of electr. stimulation on the experimentally denervated rat muscle"

- 28) Schröder, Nix, 1980 siehe 27), 192-198
"Histochemische Muskelfasertypen nach direkter u. indirekter Reizung"
- 25) Steinberger, Smith, 1968, Arch.Phys.Med.a.Rehab. Okt.1968, Nr. 49,573 ff
"Maintenance of denervated rabbit muscle with direct electrostimulation"
- 85) Steward, D.M., Am. J. of Phys.10.April 1967
"Effect of age on the response of four muscles of the rat to denervation"
- 94) Doris M. Stewart, Am. J.of Phys. 10.April 1967
"Effect of age on the response on four muscles of the rat to denervation"
- 5) Stillwell e.a., 1962, Arch. Phys. a. Rahb. März 1962, Vol. 43,95 ff
"Effect of varying interval between sessions of electric stimulation of denervated rat muscle"
- 84) H.H. Stonnington, Engel, A.G., 1973, Neurology Vol. 23, 714 ff
"Normal and denervated muscle"
- 62) D. Taverner, 1965, Arch. Otologyng. Vol. 81, 489 ff
"Treatment of facial palsies"
- 63) D. Taverner, 1959, Proc. Roy. Soc. of Med. 52, 1077 ff
"Prognosis and treatment of spontaneous facial palsies"
- 11) J.D. Thomson, 1957, Am. J. Phys. Med. 36, 16-20
"Effect of electrotherapy on some mechanical properties of denervated muscle"
- 37) Ungerer, Kark, 1977, Neurology April 1977, 357
"Nerve-muscle contact and the trophic maintenance of muscle oxidation"

- 10) K.G. Wakim, F.H. Krusen, 1955, Arch. Phys. Med. a.Rehab. 36,
Juni 1955, 370 ff

"The influence of electrical stimulation on the work output and
endurance of denervated muscle"

- 6) Wehrmacher, Thomson e.a., 1945, Arch. Phys. Med. 26, 261 ff

"Effects of electr. stimulation on denervated skeletal muscle"

- 2) R.H. Westgaard, 1975, J. Phys. 251, 683 ff

"Influence of Activity on the Passive Electrical Properties of
Denervated Soleus Muscle Fibres in the Rat"

Tabellarischer Lebenslauf - Stephan Gemen

Geboren am 27.9.1951 in Burghausen

Vater: Dr. med. Eberhard Gemen, Arzt

Mutter: Margaretha Gemen, geb. Kraft, Hausfrau

1958 Eintritt in die Volksschule Burghausen

1963 Übertritt in das Aventinus Gymnasium Burghausen, (neusprachl.)

1966 Überwechseln in das Tassilo Gymnasium Simbach/Inn

1973 Abitur

1973 August, Arbeit als Hilfskrankenpfleger im Krankenhaus Simbach, bis

1974 Oktober, Eintritt in die Bundeswehr, Sanitätsdienst, bis

1975 Dezember,

1976 Januar, Arbeit als Hilfskrankenpfleger im Krankenhaus Simbach

1977 Wintersemester, Beginn des Medizinstudiums

1983, August, zweites Staatsexamen

1983, Oktober, Beginn des praktischen Jahres:

1. Freies Fach: Gynäkologie, Städt. Krankenhaus Traunstein,
Dr. Schafbauer

2. Innere Medizin: Städt. Krankenhaus Traunstein, PD Dr. Kiefhaber

3. Chirurgie: Städt. Krankenhaus Landshut, Prof. Dr. Hueck

1984, Oktober-November: Drittes Staatsexamen

1984, November: Approbation als Arzt

1984 1. Dez.: Assistenzarzt Chirurgie Krankenhaus Simbach

1985 1. Mai: Assistenzarzt Innere Medizin Krankenhaus Simbach

